

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет водного господарства  
та природокористування

**А. М. РОКОЧИНСЬКИЙ, В. О. ТУРЧЕНІЮК,  
П. П. ВОЛК, Р. М. КОПТЮК, С. В. ВЕЛИЧКО,  
Н. В. ПРИХОДЬКО, Н. А. ФРОЛЕНКОВА, Л. Р. ВОЛК**

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНКІВ  
ВОДОГОСПОДАРСЬКО-МЕЛІОРАТИВНИХ ОБ'ЄКТІВ**

*Навчальний посібник*

За редакцією професора А. М. Рокочинського

*Рекомендовано як навчальний посібник  
для студентів вищих навчальних закладів*

Рівне – 2020

УДК 681.5:626.81(075.8)

A22

Авторський колектив: А. М. Рокочинський, В. О. Турченко, П. П. Волк, Р. М. Коптюк, С. В. Величко, Н. В. Приходько, Н. А. Фроленкова, Л. Р. Волк

**Рецензенти:**

*Дупляк В. Д.*, к.т.н., професор, директор ПАТ «Укрводпроект»;

*Ткачук М. М.*, д.т.н., професор Національного університету водного господарства та природокористування.

*Рекомендовано вченою радою Національного університету  
водного господарства та природокористування.*

*Протокол № 6 від 26 червня 2020 р.*

**A22** Автоматизація проектування та розрахунків водогосподарсько-меліоративних об'єктів : навч. посібник / за ред. проф. А. М. Рокочинського. [Електронне видання]. – Рівне : НУВГП, 2020. – 257 с.

**ISBN 978-966-327-478-2**

У навчальному посібнику розглянуто основи теоретичних знань, науково-методичні розробки та деякі практичні аспекти комплексного застосування оптимізаційних, прогнозно-імітаційних моделей, а також ВІМ-технологій в структурі сучасного автоматизованого проектування водогосподарсько-меліоративних об'єктів, як універсального технічного інструменту в практиці проектування складних об'єктів і систем взагалі. Галузь водного господарства є традиційно однією з проектомістких, тому набуття базових знань та практичних навиків застосування автоматизованого проектування водогосподарсько-меліоративних об'єктів буде сприяти істотному підвищенню рівня інженерної підготовки та матиме важливе значення для діяльності майбутніх фахівців у будівельних, проектних та науково-дослідних організаціях галузі.

Посібник рекомендований для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів за спеціальностями 192 «Будівництво та цивільна інженерія», 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» денної та заочної форм навчання.

**УДК 681.5:626.81(075.8)**

**ISBN 978-966-327-478-2**

© А. М. Рокочинський, В. О. Турченко,  
П. П. Волк, Р. М. Коптюк,  
С. В. Величко, Н. В. Приходько,  
Н. А. Фроленкова, Л. Р. Волк, 2020

© НУВГП, 2020

## Зміст

<b>ПЕРЕДМОВА.....</b>	<b>5</b>
<b>Тема 1. Сучасний стан розвитку водного господарства.....</b>	<b>6</b>
1.1. Водогосподарський комплекс України .....	6
1.2. Сучасний стан зрошувальних меліорацій в Україні .....	13
1.3. Структура осушуваних земель України .....	19
1.4. Склад проектної документації .....	25
<i>Контрольні питання .....</i>	<i>32</i>
<b>Тема 2. Автоматизоване проектування .....</b>	<b>33</b>
2.1. Передумови створення та реалізації САПР, сутність та складові проектної справи .....	33
2.2. Декомпозиція проектних задач і системний підхід .....	34
2.3. Визначення і класифікація САПР .....	36
2.4. Передумови для створення та реалізації САПР в меліоративному виробництві .....	38
<i>Контрольні питання .....</i>	<i>40</i>
<b>Тема 3. Етапи проектування та структура САПР .....</b>	<b>41</b>
3.1. Базові проектні процедури .....	41
3.2. Підсистеми САПР .....	42
3.3. Принципи побудови САПР меліоративних об'єктів .....	44
3.4. Технічне та програмне забезпечення САПР .....	47
3.5. BIM-технології .....	52
<i>Контрольні питання .....</i>	<i>55</i>
<b>Тема 4. Моделі та моделювання .....</b>	<b>56</b>
4.1. Класифікація моделей .....	56
4.2. Види моделей .....	59
4.3. Вимоги до моделей .....	64
<i>Контрольні питання .....</i>	<i>64</i>
<b>Тема 5. Підходи методи та моделі при проектуванні інженерних об'єктів .....</b>	<b>65</b>
5.1. Підходи і методи при автоматизації проектування водогосподарсько-меліоративних об'єктів .....	65
5.2. Модель меліоративної системи та меліорованого поля .....	68
5.3. Модель з прогносної оцінки на довготерміновій основі типових метеорологічних режимів .....	72
5.4. Модель прогносної оцінки водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель .....	86
5.5. Модель водного режиму в умовах розвиненого рельєфу місцевості .....	95
5.6. Модель продуктивності осушуваних земель .....	107
5.7. Модель оптимізації параметрів дренажу та дренажних систем з урахуванням економічних та екологічних вимог .....	121
<i>Контрольні питання .....</i>	<i>139</i>

<b>Тема 6. Постановка і шляхи розв’язання проблеми оптимізації водорегулювання меліорованих земель .....</b>	<b>140</b>
6.1. Постановка і шляхи розв’язання проблеми оптимізації водорегулювання меліорованих земель .....	140
6.2. Структура наскрізної оптимізації в системі ефект-режим-технологія-конструкція.....	145
6.3. Критерії економічної та екологічної ефективності гідромеліорацій .....	149
6.4. Підходи до розробки методів оптимізації технічних і технологічних розв’язань з водорегулювання меліорованих земель на різних рівнях прийняття рішень в часі .....	154
6.5. Моделі оптимізації проектних розв’язань на еколого-економічних засадах .....	160
<i>Контрольні питання</i> .....	162
<b>Тема 7. Принципи побудови та реалізації комплексних моделей оптимізації проектних розв’язань на еколого-економічних засадах .....</b>	<b>163</b>
7.1. Вихідні передумови до постановки оптимізаційних задач .....	163
7.2. Структура побудови комплексних моделей оптимізації за різнорідними критеріями.....	165
7.3. Принципи реалізації комплексних моделей оптимізації проектних розв’язань .....	170
<i>Контрольні питання</i> .....	174
<b>Тема 8. Обґрунтування оптимальних параметрів регулюючої та провідної мережі, регулюючих ГТС у проектах гідромеліоративних систем на еколого-економічних засадах.....</b>	<b>175</b>
8.1. Постановка задачі.....	175
8.2. Необхідні вихідні передумови .....	179
8.3. Принципи побудови та реалізації оптимізаційних моделей .....	183
<i>Контрольні питання</i> .....	197
<b>Тема 9. Рекомендації до виконання розрахунково-графічної роботи .....</b>	<b>198</b>
9.1. Склад розрахунково-графічної роботи .....	198
9.2. Розрахунки за програмою "BALANS" .....	199
9.3. Розрахунки за програмою "DRENAG" .....	200
9.4. Розрахунки за програмою «REGIM -ТЕО».....	202
<b>ВПРАВИ.....</b>	<b>205</b>
<b>ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК .....</b>	<b>219</b>
<b>ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК .....</b>	<b>225</b>
<b>ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....</b>	<b>226</b>
<b>ДОДАТКИ .....</b>	<b>229</b>

## ПЕРЕДМОВА

Відповідно до «Переліку галузей знань і спеціальностей...» та відповідно до практики ЄС послідовно були запропоновані та внесені спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» і 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології», які мають деякі відмінності від підготовки фахівців загальнобудівельного напрямку. Оскільки це специфічні «водні» спеціальності в країні, то надзвичайно актуальним постає питання щодо об'єднання в їх рамках всіх видів водної діяльності, що потребує внесення змін у підготовку традиційних фахівців водогосподарського спрямування – меліораторів, гідротехніків, водогосподарників тощо.

Людство вступило в ХХІ століття в якому доведеться вирішувати ряд складних проблем, пов'язаних з екологізацією меліоративного виробництва, будівництвом та реконструкцією в галузі водного господарства, що є надзвичайно складними через необхідність аналізу значної кількості змінних характеристик щодо погодно-кліматичних умов, водного режиму, технологій водорегулювання, конструкцій та параметрів меліоративних систем, продуктивності меліорованих земель тощо, тому доцільно їх реалізувати на засадах застосування сучасних високоінформативних комп'ютерних технологій. Методологічною основою та, одночасно, універсальним технічним інструментом, який дає змогу удосконалювати практику проектування складних об'єктів і систем, що сьогодні успішно використовується і розвивається практично в усіх галузях науки, техніки і промисловості, є автоматизоване проектування. При цьому автоматизація проектування природним чином доповнює автоматизацію виробничих процесів та автоматизацію й організацію управління (АСУ), що стають сьогодні реальністю.

Даний навчальний посібник є одним із наявних в країні, в якому з урахуванням останніх досягнень науково-технічного прогресу наведені основи автоматизації проектування водогосподарсько-меліоративних об'єктів із застосуванням сучасних ВІМ технологій. Представлені наукові та практичні аспекти, відповідне методичне та інформаційне забезпечення з обґрунтування проектних рішень при створенні та функціонуванні водогосподарсько-меліоративних об'єктів та комплексів як складних природно-технічних еколого-економічних систем на прикладі оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах. Викладені особливості розрахунку дренажних систем в умовах розвиненого рельєфу місцевості. Далі розглянуто оптимізацію параметрів дренажу з врахуванням сучасних економічних та екологічних вимог.

Навчальний посібник містить теоретичну частину, перелік питань тестових завдань для контролю знань студентів, предметний покажчик і бібліографічний список.

# Тема 1. Сучасний стан розвитку водного господарства

## 1.1. Водогосподарський комплекс України

### 1.1.1. Сучасний стан водогосподарського комплексу України

Водогосподарський комплекс (ВГК) – це складова національної економіки, що охоплює водні об'єкти з наявними в них водними ресурсами, гідротехнічні споруди, а також діяльність водокористувачів, органів управління та відповідного контролю. ВГК – це складна природо-господарська система, яка визначається власними засадами функціонування, структурою, особливостями реалізації поставлених завдань та пріоритетами розвитку. Від ефективного функціонування водного господарства України залежить забезпечення національної безпеки нашої держави. Головна мета водогосподарського комплексу є планомірне забезпечення населення та різних сфер економічної діяльності водою в необхідній кількості та відповідної якості.

Водне господарство України включає в себе водні ресурси (поверхневі та підземні) та споруди, що здійснюють забір, транспортування та використання цих ресурсів.

### 1.1.2. Водні ресурси України та їх значення для галузей економіки

Воду можна назвати, без перебільшення, першим з чудес природи. Без неї було б неможливе життя на Землі. На користь цих положень свідчать такі факти: вода є найбільш поширеною в природі сполукою; вода є основною складовою організму людини і всієї живої природи; вода є середовищем для проживання риб та тварин; вода є джерелом екологічно чистої енергії; вода визначає клімат; по воді здійснюється транспортування вантажів.

Найбільш важлива властивість води – її постійне поновлення за рахунок кругообігу в природі.

Ресурси прісних вод України складаються зі стоку річок, що в середньому за рік складає  $87 \text{ км}^3$  (у засушливі роки – до  $50 \text{ км}^3$ ), з них тільки  $52 \text{ км}^3$  річкового стоку формується на території України, і запасу підземних вод, що складає  $21,4 \text{ км}^3$ .

По запасах прісних вод в Україні на одного жителя припадає  $1,7 \text{ тис. м}^3$  води. Україна займає одне з останніх місць в Європі.

Територією України протікає 71 тис. річок і струмків. З них 67 тис. (94,4%) водотоків має довжину менше 10 км. З 4 тис. річок, 73,3% мають довжину 10...25 км, 23,4% складають ріки довжиною 25...100 км і лише 3,3% мають довжину більше 100 км.

Найбільші ріки України: Дніпро (витрати  $1633 \text{ м}^3/\text{с}$ ); Дністер (витрати  $274 \text{ м}^3/\text{с}$ ); Тиса (витрати  $216 \text{ м}^3/\text{с}$ ). Стік Дніпра в багатоводний рік  $83 \text{ км}^3$ , у середній –  $53,4 \text{ км}^3$ ,  $Q = 1700 \text{ м}^3/\text{с}$ , у маловодний –  $22,4 \text{ км}^3$ . Стік Дністра в багатоводний рік  $10 \text{ км}^3$  у середній –  $7,9 \text{ км}^3$ ,  $Q = 274 \text{ м}^3/\text{с}$ , у маловодний –

5,9 км<sup>3</sup>. Стік Тиси в багатоводний рік 6,5 км<sup>3</sup> у середній – 5 км<sup>3</sup>, Q=216 м<sup>3</sup>/с, у маловодний – 3,7 км<sup>3</sup>.

Найбільше за площею озеро України – Ялпуг – 150 км<sup>2</sup>, (максимальна глибина 6м, середня – 2 м, W=0,39 км<sup>3</sup>). Саме глибоке озеро в Україні – Світязь – 59 м, (площа 27 км<sup>2</sup>, W=0,18 км<sup>3</sup>, середня глибина 6 м).

Для України характерна значна нерівномірність у розподілі водних ресурсів за територією. Основна частина водних ресурсів зосереджена на Півночі і Заході країни. Якщо запаси прісних вод у середній по водності рік складають 1,7 тис. м<sup>3</sup> на одного жителя, то на Південному Сході (Донецька, Луганська, Харківська обл., Крим) – всього лише 0,25 тис. м<sup>3</sup>.

Характерна для України нерівномірність розподілу водних ресурсів протягом року (за час весняної повені проходить 60...70% річного стоку на Півночі і Північному Сході і 80...90% на Півдні).

Територіальний розподіл водних ресурсів не відповідає розміщенню водоемних галузей народного господарства. Найбільша кількість ресурсів (58%) зосереджена в басейні р. Дунай у прикордонних районах України, де потреба у воді не перевищує 5% від наявної кількості водних ресурсів. Найменше забезпечені водними ресурсами Донбас, Криворіжжя, Крим та південні області України, де зосереджені найбільші споживачі води.

Доступні для широкого використання водні ресурси формуються в основному в басейнах Дніпра, Дністра, Сіверського Дінця, Південного та Західного Бугу, Тиси, малих річок Приазов'я та Причорномор'я.

Проблема нерівномірності розподілу водних ресурсів України по території та в часі вирішується шляхом регулювання та розподілу річкового стоку. Для цього створено 1160 водосховищ загальним об'ємом 55 км<sup>3</sup>, 28 тисяч ставків, 5 великих каналів та 10 водоводів великого діаметра.

Для поверхневих вод України характерна значна ступінь забрудненості речовинами, які повільно розкладаються, що викликано низькою якістю очистки стічних вод, особливо це стосується річок Південного Сходу (наприклад річка Молочна в Запорізькій області).

Нерівномірно розподілені й підземні води України. Вони в основному зосереджені на Поліссі та в зоні Лісостепу (понад 75%). На Півдні запаси підземних вод незначні, вони мають високу мінералізацію і використовуються мало.

### ***1.1.3. Водне господарство України та його сучасний стан***

Основні об'єкти водного господарства:

- 9 великих, 81 середня та 22,7 тис. малих річок довжиною понад 373 тис. км;
- 1087 водоймищ площею водного дзеркала понад 3,3 тис. км<sup>2</sup> і загальним об'ємом 55,1 км<sup>3</sup>;
- підземні води питної якості з прогнозними запасами 20,9 млрд м<sup>3</sup>;

- 7 великих магістральних каналів загальною довжиною 1192 км та 10 великих водогонів, по яким щороку подається в маловодні райони понад 22 млрд м<sup>3</sup>;
- понад 110 тис. свердловин, які щороку поставляють майже 5 млрд м<sup>3</sup> підземних вод, в основному для питних та побутових потреб населення;
- близько 110 великих водозаборів з водоводами для водопостачання промислових центрів;
- 25 великих міжобласних зрошувальних систем, що забезпечують полив близько 2,5 млн га земель, водопостачання населення, промисловості та сільського господарства;
- близько 40 осушувальних систем, що забезпечують оптимальний водно-повітряний режим на площі понад 3 млн га;
- понад 2000 км захисних дамб з гідротехнічними спорудами, дренажними системами, насосними станціями, що захищають від затоплення території площею понад 1 млн га.

У середній по водності рік поверхневі водні ресурси складають 87,1 км<sup>3</sup>, а запаси підземних вод – близько 22 м<sup>3</sup>.

На території України побудовано 1160 водосховищ об'ємом 55 км<sup>3</sup> 28 тис. ставків (ставки – це штучні водойми об'ємом менше 1 млн м<sup>3</sup>, а водосховища мають об'єм більше 1 млн м<sup>3</sup>).

На р. Дніпро створено 6 великих водосховищ, найбільші з яких: Каховське (об'єм 18.2 км<sup>3</sup>); Кременчуцьке (об'єм 13.52 км<sup>3</sup>); Київське (об'єм 13.52 км<sup>3</sup>). На Дністрі – Дністровське (об'єм 3 км<sup>3</sup>).

Найбільші канали України та їх значення для народного господарства:

1. Північно–Кримський, бере воду з Дніпра, довжина 400 км, витрата – 300 м<sup>3</sup>/с, максимальна ширина по дну 21 м, будівельна глибина-близько 6 м; призначення – зрошення та водопостачання населення і промисловості міст Сімферополь, Севастополь, Керч, населених пунктів Керченського промислового району.
2. Головний–Каховський, бере воду з Каховського водосховища на Дніпрі, довжина 130 км, витрата – 530 м<sup>3</sup>/с, максимальна ширина по дну – 22 м, призначення – водопостачання сільських населених пунктів, промисловості, зрошення сільгоспугідь у Херсонській та Запорізькій областях.
3. Дніпро–Донбас, бере воду з Дніпра, довжина 263 км, витрата-120м<sup>3</sup>/с, ширина по дну – 20 м; будівельна глибина – 7....8 м; глибина води – 4.5...5,5 м; призначення – водопостачання населення і промисловості Донбасу, Харківського промислового регіону та м. Харків.
4. Канал Дніпро–Кривий Ріг, бере воду з Дніпра, загальна довжина – 42 км, витрата після реконструкції 44 м<sup>3</sup>/с, ширина по дну 4 м, глибина води – 3,6...4,25 м; призначений для водопостачання Криворізького промислового району та зрошення прилеглих сільськогосподарських угідь.
5. Магістральний канал Інгулецької зрошувальної системи, довжина – 340,6 км; витрата 60 м<sup>3</sup>/с.



6. Сіверський Донець-Донбас, бере воду з Сіверського Донця, витрата після реконструкції – 43 м<sup>3</sup>/с, довжина – 132 км; призначений для промислово-питного водопостачання Донбасу.

7. Канал Дніпро-Інгулець, довжина – 150 км; витрата 37 м<sup>3</sup>/с, призначений для забезпечення водою Кіровоградського та Криворізького промислових районів, для зрошення сільгоспугідь в Кіровоградській, Дніпропетровській та Миколаївській областях, для екологічного оздоровлення річки Інгулець.

За рахунок водних ресурсів Дніпра водозабезпеченість Криму підвищена в 3 рази, у Херсонській області – в 5.5 рази, у Дніпропетровській – у 3 рази.

Основні проблеми, що стоять перед водним господарством України:

1. Низька забезпеченість водними ресурсами (найнижча в Європі – 1,7 тис.м<sup>3</sup> на 1 жителя).
2. Нерівномірність розподілу водних ресурсів по території.
3. Нерівномірність розподілу водних ресурсів у часі (весняний сток складає 60-70% від загального стоку на півночі та північному сході та 80-90% на півдні).
4. Високий ступінь забруднення поверхневих вод токсичними та шкідливими речовинами.
5. Високий ступінь забруднення поверхневих вод в окремих регіонах радіонуклідами, що викликано аварією на ЧАЕС.
6. Можливість затоплення і підтоплення близько 10% території де проживає до 10.5 млн жителів.

Вирішенням цих проблем займаються цілий ряд установ, у тому числі й Державне агентство водних ресурсів.

#### ***1.1.4. Державне агентство водних ресурсів України***

Державне агентство водних ресурсів України (Держводагентство) є центральним органом виконавчої влади, діяльність якого спрямовується і координується Кабінетом Міністрів України через Міністра енергетики та захисту довкілля і який реалізує державну політику у сфері розвитку водного господарства та гідротехнічної меліорації земель, управління, використання та відтворення поверхневих водних ресурсів.

Основними завданнями Держводагентства є:

1. Реалізація державної політики у сфері управління, використання та відтворення поверхневих водних ресурсів, розвитку водного господарства і меліорації земель та експлуатації державних водогосподарських об'єктів комплексного призначення, міжгосподарських зрошувальних і осушувальних систем;

2. Внесення пропозицій щодо забезпечення формування державної політики у сфері розвитку водного господарства та гідротехнічної меліорації земель, управління, використання та відтворення поверхневих водних ресурсів.

Держводагентство відповідно до покладених на нього завдань:

1. Узагальнює практику застосування законодавства з питань, що належать до його компетенції, розробляє пропозиції щодо вдосконалення законодавчих актів, актів Президента України та Кабінету Міністрів України, нормативно-правових актів міністерств та в установленому порядку подає їх Міністрові енергетики та захисту довкілля;

2. Видає, анулює, здійснює переоформлення дозволів на проведення робіт на землях водного фонду (крім проведення робіт на землях водного фонду в межах прибережних захисних смуг уздовж морів, морських заток і лиманів, у внутрішніх морських водах, лиманах та територіальному морі) і видає їх дублікати;

3. Видає та анулює дозволи на спеціальне водокористування;

4. Розробляє та бере участь у виконанні державних цільових програм з питань водного господарства, меліорації земель, управління, використання та відтворення поверхневих водних ресурсів;

5. Забезпечує задоволення потреб населення і галузей економіки у водних ресурсах, розробляє пропозиції щодо визначення пріоритетів розвитку водного господарства та гідротехнічної меліорації земель;

6. Розробляє та встановлює режими роботи водосховищ комплексного призначення, водогосподарських систем і каналів, затверджує правила їх експлуатації;

7. Встановлює режими роботи водосховищ та ставків, наданих у користування на умовах оренди;

8. Затверджує правила та встановлює режим експлуатації загальнодержавних і міжгосподарських меліоративних систем, забезпечує їх дотримання;

9. Здійснює контроль за дотриманням режимів роботи водосховищ, водогосподарських систем і каналів;

10. Аналізує та узагальнює звіти водокористувачів щодо використання водних ресурсів, перевіряє їх достовірність;

11. Проводить моніторинг технічного стану меліоративних систем та гідротехнічних споруд підприємств, установ та організацій, що належать до сфери його управління;

12. Проводить моніторинг якості вод водогосподарських систем міжгалузевого та сільськогосподарського водопостачання;

13. Проводить моніторинг якості вод водних об'єктів за радіологічними показниками на територіях, що зазнали радіоактивного забруднення;

14. Проводить моніторинг меліоративного стану зрошуваних та осушуваних земель, а також ґрунтів у зонах впливу меліоративних систем;

15. Проводить моніторинг якості вод на транскордонних ділянках водотоків, визначених відповідно до міждержавних угод про співробітництво на транскордонних водних об'єктах;

16. Проводить моніторинг за переформуванням берегів;

17. Проводить державний моніторинг вод відповідно до порядку, затвердженого Кабінетом Міністрів України;

18. Здійснює заходи щодо екологічного оздоровлення поверхневих вод та догляду за ними;

19. Погоджує межі зон санітарної охорони водних об'єктів;

20. Погоджує договори оренди та паспорти водних об'єктів;

21. Погоджує створення на річках та у їх басейнах штучних водойм і водопідпірних споруд;

22. Погоджує проекти щодо розмірів та режиму користування смуг відведення;

23. Здійснює у межах повноважень, передбачених законом, разом з іншими органами виконавчої влади заходи щодо запобігання надзвичайним ситуаціям, зменшення руйнівних наслідків повеней, забезпечення безаварійного пропуску паводкових вод та льодоходу;

24. Забезпечує проведення робіт із запобігання пошкодженню та аваріям на гідротехнічних спорудах загальнодержавних і міжгосподарських меліоративних систем, а також з ліквідації наслідків аварій на цих спорудах;

25. Здійснює заходи, пов'язані із запобіганням шкідливій дії вод і ліквідацією її наслідків, включаючи протипаводковий захист сільських населених пунктів та сільськогосподарських угідь;

26. Організовує виконання робіт, пов'язаних з мінімізацією наслідків шкідливої дії вод, зокрема шляхом забезпечення захисту від підтоплення, протипаводкового і протиповеневого захисту сільськогосподарських угідь, а також сільських населених пунктів;

27. Розробляє схеми комплексного використання та охорони водних ресурсів, формує довгостроковий прогноз водогосподарських балансів, бере участь у вирішенні питань, пов'язаних з міждержавним розподілом стоку річок і використанням прикордонних вод;

28. Забезпечує з урахуванням галузевих особливостей проектування, будівництва і реконструкцію систем захисту від шкідливої дії вод, групових і локальних водопроводів, систем водопостачання та каналізації у сільській місцевості, гідротехнічних споруд і каналів, меліоративних систем та окремих об'єктів інженерної інфраструктури, водогосподарських об'єктів багатоцільового використання;

29. Проводить галузеву експертизу проектно-кошторисної документації на будівництво (реконструкцію) окремих об'єктів інженерної інфраструктури меліоративних систем;

30. Забезпечує експлуатацію державних водогосподарських об'єктів комплексного призначення, міжгосподарських зрошувальних і осушувальних систем, а також забезпечує проведення планово-запобіжних ремонтів меліоративних систем і споруд;

31. Розробляє довгострокові прогнози та пропозиції щодо основних напрямів розвитку гідротехнічної меліорації земель та використання меліорованих угідь;

32. Розробляє та подає Мінекоенерго пропозиції щодо розроблення, перегляду і затвердження нормативної документації з проектування,

будівництва та експлуатації водогосподарських об'єктів і меліоративних систем;

33. Здійснює управління об'єктами державної власності, які належать до сфери управління Держводагентства;

34. Забезпечує виконання прикладних науково-дослідних робіт у сфері водного господарства, меліорації земель, управління, використання та відтворення поверхневих водних ресурсів;

35. Погоджує нормативи водопостачання;

36. Веде державний облік водокористування;

37. Веде державний водний кадастр за розділами «Поверхневі водні об'єкти» та «Водокористування»;

38. Здійснює паспортизацію річок і джерел питного водопостачання;

39. Здійснює інвентаризацію та паспортизацію загальнодержавних і міжгосподарських меліоративних систем;

40. Проводить аналіз якості поверхневих вод та сповіщає органи виконавчої влади і органи місцевого самоврядування, організовує розроблення оперативних та довгострокових прогнозів зміни екологічного стану водних об'єктів і меліорованих земель;

41. Організовує та координує підготовку, перепідготовку і підвищення кваліфікації кадрів у сфері розвитку водного господарства і меліорації земель, управління, використання та відтворення поверхневих водних ресурсів;

42. Погоджує документацію із землеустрою у випадках та порядку, що визначені Земельним кодексом України та Законом України «Про землеустрій», щодо відповідності зазначеної документації водному законодавству;

43. Погоджує проекти на проведення робіт на землях водного фонду (крім робіт на землях, зайнятих морями), пов'язаних з будівництвом гідротехнічних, лінійних та гідрометричних споруд, поглибленням дна для судноплавства, видобуванням корисних копалин (крім піску, гальки і гравію у руслах малих та гірських річок), розчисткою русел річок, каналів і дна водойм, прокладенням кабелів, трубопроводів, інших комунікацій, а також виконанням бурових та геологорозвідувальних робіт;

44. Розробляє заходи щодо забезпечення централізованим водопостачанням сільських населених пунктів, що користуються привізною водою;

45. Готує та вносить на розгляд Міністра енергетики та захисту довкілля пропозиції до державних цільових програм щодо прогнозів розвитку водного господарства і меліорації земель, управління, використання та відтворення поверхневих водних ресурсів на коротко- та середньостроковий періоди і забезпечує їх виконання;

46. Забезпечує інформування громадськості про реалізацію державної політики у сфері розвитку водного господарства і гідротехнічної меліорації земель, управління, використання та відтворення поверхневих водних ресурсів;

47. Здійснює міжнародне співробітництво у галузі використання і охорони вод та відтворення поверхневих водних ресурсів прикордонних вод;

48. Готує пропозиції щодо укладення та денонсації міжнародних договорів, укладає міжнародні договори України міжвідомчого характеру, забезпечує виконання узятих Україною за міжнародними договорами зобов'язань з питань, що належать до його компетенції;

49. Надає пропозиції щодо обсягів державного замовлення для підготовки, перепідготовки та підвищення кваліфікації фахівців у сфері розвитку водного господарства і меліорації земель, управління, використання та відтворення поверхневих водних ресурсів;

50. Організовує наукову, науково-технічну, інвестиційну, інформаційну, видавничу діяльність, сприяє створенню і впровадженню сучасних інформаційних технологій та комп'ютерних мереж у сфері розвитку водного господарства і меліорації земель, управління, використання та відтворення поверхневих водних ресурсів;

51. Здійснює розгляд звернень громадян з питань, пов'язаних з діяльністю Держводагентства, підприємств, установ та організацій, що належать до сфери його управління.

## **1.2. Сучасний стан зрошувальних меліорацій в Україні**

Важливими чинниками розвитку зрошувальних меліорацій в Україні є її природно-кліматичні умови. За цими умовами у межах України виокремлюються три природно-кліматичні зони: надлишково зволожена Лісова (25% території), недостатньо зволожена Лісостепова (35%) і посушлива Степова (40%) та чотири агрокліматичні зони: волога, помірно тепла; недостатньо волога, тепла; посушлива, дуже тепла; дуже посушлива, помірно жарка.

Тільки за характером районування та назвами природно-кліматичних і агрокліматичних зон можна констатувати, що майже на 75% території країни вирощування сільськогосподарських культур ведеться в умовах недостатнього природного зволоження і дефіцит вологи є основним лімітуючим фактором їх продуктивності.

Дефіцит природного зволоження на значній території України в поєднанні з високою забезпеченістю тепловими ресурсами, сонячною радіацією та родючими ґрунтами є об'єктивною природною передумовою розвитку зрошення земель. При цьому зрошення необхідно розглядати як фактор істотного підвищення продуктивності землеробства і зменшення його залежності від несприятливих кліматичних умов.

Ще одним дуже важливим фактором, який необхідно враховувати, аналізуючи передумови існування й розвитку зрошення в Україні, є глобальні зміни клімату.

На глобальному і, як наслідок, на регіональному рівнях зміни клімату стали незаперечним фактом, наявність якого поставила перед людством

проблему розв'язання цілої низки надзвичайно важливих і складних завдань, пов'язаних з розробкою та реалізацією стратегії свого існування в умовах глобальних змін клімату. Україна також належить до числа регіонів планети, де зміни клімату, що відбуваються, є відчутними. Навіть без проведення спеціальних спостережень стало помітно, що тривалість зимових періодів значно скоротилась, а самі зими стали менш холодними, почастишали посухи.

За оцінками фахівців, глобальне потепління сприятиме зростанню посушливості клімату України та призведе до зниження рівня забезпеченості водними ресурсами, особливо південних регіонів, та погіршення їх якості.

Необхідність проведення зрошення в Україні диктується не тільки природно-кліматичними умовами, а й рядом соціально-економічних факторів.

На формування останніх суттєво впливають, насамперед, розвиток і розміщення промисловості, наявність великих міст, промислових центрів, курортних зон, загальна кількість та питома вага сільського населення, транспортні умови тощо.

Важливим економічним фактором, який обумовлює необхідність проведення зрошення земель, є стійка потреба держави в таких видах сировини і продуктів харчування, виробництво яких без поливу неможливе або малоефективне. Це стосується таких культур як рис, соя, кукурудза, овочі, тощо.

Високі темпи розвитку зрошення для України характерні в період з 1966 до 1990 рр. При цьому приріст зрошуваних земель відбувався в основному завдяки будівництву великих державних зрошувальних систем.

У дев'яності роки загальна економічна криза у поєднанні з уповільненням темпів освоєння меліоративного фонду стали об'єктивною причиною зниження ефективності всього водогосподарсько-меліоративного комплексу. У той же час накопичений досвід дає підстави вважати, що меліорація земель в Україні на наступному етапі свого розвитку повинна, перш за все, орієнтуватись на значне підвищення ефективності зрошуваного землеробства та одночасного вирішення проблем охорони і відтворення родючості ґрунту як основи сталого розвитку не тільки аграрного сектора, а й держави в цілому.

Як відомо, сучасний стан зрошення характеризується невизначеністю цілої низки питань, пов'язаних з його відновленням і подальшим розвитком. Природно-кліматичні умови України, глобальні зміни клімату, прояви яких в Україні зумовлюють підвищення ролі зрошення в забезпеченні сталого виробництва рослинної продукції, наявний потенціал і попередній досвід використання зрошення, а також перехід на ринкові умови господарювання перетворюють зрошення з допоміжного, як до недавнього часу вважалось, в обов'язковий, а для багатьох сільськогосподарських культур і визначальний елемент технології інтенсивного їх вирощування.

Подальший розвиток зрошення в Україні також вимагатиме розв'язання таких питань:

- обґрунтування потреби в зрошенні як у цілому по Україні, так і для окремих її регіонів;
- обґрунтування умов та обсягів (співвідношення) застосування різних способів поливу для зрошення різних сільськогосподарських культур залежно від ґрунтово-кліматичних умов їх вирощування, наявності, конструкції та технічного стану існуючої мережі зрошувальних систем;
- обґрунтування потреби в дощувальній техніці та інших засобів поливу, доцільності та умов організації їхнього виробництва в Україні;
- розробки раціональної структури посівних площ і сівозмін на зрошуваних землях, орієнтованих на ринкові умови господарювання;
- обґрунтування заходів щодо збереження та відтворення родючості зрошуваних ґрунтів;
- розробка умов переведення зрошення на дозвільний принцип його ведення як основи високоефективного та екологічнобезпечного використання водних і земельних ресурсів при зрошенні.

Розрахунки показують, що стабільне виробництво сільськогосподарської продукції, у тому числі і в роки з несприятливими погодними умовами, може бути забезпечене при доведенні площі меліорованих земель з високим рівнем сільськогосподарського використання до 5,0-5,5 млн га, в т.ч. поливних до 2,0-2,2 млн га, тобто за умови, що меліоровані землі будуть займати близько 20% від загальної площі сільськогосподарських угідь. При цьому мається на увазі та площа сільгоспугідь, що залишиться після проведення заходів з виведення 8-10 млн га сільгоспугідь з використання відповідно до рекомендацій НААН та Мінагрополітики України.

В умовах, коли держава практично не має коштів для фінансування робіт з реконструкції та модернізації наявних меліоративних систем, не говорячи вже про будівництво нових, особливу роль у вирішенні питання відновлення сталого функціонування зрошення можуть відіграти заходи спрямовані на підвищення інвестиційної привабливості галузі, а саме:

- створення на законодавчому рівні умов для передачі зрошувальних систем в концесію;
- запровадження лізингового механізму на поставку дощувальної техніки та іншого гідромеліоративного обладнання і техніки;
- запровадження пільгового середньо- та довгострокового кредитування робіт з реконструкції та модернізації меліоративних систем;
- запровадження механізму державної підтримки високоефективного господарювання на меліорованих землях тощо.

Формування нової державної політики щодо розвитку зрошення, крім наведеного вище, має також враховувати умови застосування різних способів поливу, особливо з огляду на їх енерго- та матеріалоємність, екологічну безпечність.

Очевидно, що як це було і в попередні роки, в найближчі 10-15 років найбільші площі поливатимуться за допомогою дощування. Але його частина

з майже 95% зменшиться до 80-85% за рахунок зростання обсягів застосування краплинного зрошення та мікродощування, а також повернення до застосування поверхневого способу поливу.

При цьому дощування широкозахватними дощувальними машинами фронтального й колового типів нового покоління з регульованою інтенсивністю водоподачі застосовуватиметься для поливу зернових і ряду технічних культур, а краплинне зрошення – для поливу овочевих і низки цінних технічних культур, а також садів, ягідників і виноградників. Поверхневий спосіб поливу можна застосовувати для зрошення овочевих, технічних, плодоягідних культур і винограду, але лише за умов наявності відповідних ґрунтових умов і переходу на поливи з імпульсним режимом водоподачі.

Загалом прогнольні обсяги застосування краплинного зрошення можна оцінити в 150-200 тис. га, а поверхневого способу поливу в 120-150 тис. га. Відповідно площі дощування за умови досягнення загальної площі зрошення до 1,5-1,7 млн га становитимуть 1,2-1,4 млн га. При цьому площі поливу із застосуванням широкозахватних дощувальних машин фронтального та колового типів становитимуть 900-1000 тис. га, а шланго-барабанными ДМ відповідно 300-400 тис. га.

Способи мікрозрошення, головною перевагою яких є можливість індивідуального забезпечення водою кожної рослини у відповідності з її сортовими, віковими, біологічними та іншими особливостями, тобто в суворій відповідності з її водоспоживанням, одержали найбільш широке розповсюдження для поливу тих культур, схеми посадки й агротехнічні прийоми вирощування яких найбільш повно відповідають можливості індивідуальної подачі води кожній рослині. До сільськогосподарських культур, найбільш сприйнятливих до технології мікрозрошення, належать плодово-ягідні, виноград, ефіроолійні, овочеві, баштанні, а також деякі просапні культури, такі як кукурудза, тютюн тощо.

З іншого боку, завдяки можливості подачі води безпосередньо кожній рослині у відповідності з її споживанням, реалізується інша головна перевага мікрозрошення – це суттєва економія поливної води в порівнянні з дощуванням і поверхневим поливом. Економія води різна для різних культур, природно-кліматичних зон, способів мікрозрошення (краплинне, підкронове дощування, підґрунтового-локальне) і складає від 30-50% в порівнянні з дощуванням в аридній зоні при зрошенні плодоносних садів до 3-5 і більше разів в зоні нестійкого зволоження України при зрошенні до їхнього вступу в плодоношення.

Наступною важливою перевагою мікрозрошення є можливість його використання на землях з великим похилом поверхні, тобто на землях, де інші способи зрошення не можуть бути застосовані. Остання перевага, а також можливість внесення добрив з поливною водою, тобто кожній рослині індивідуально, за рахунок чого забезпечується більш ефективно їх використання і економія на 30-50% у порівнянні з традиційними способами



внесення дозволяють розглядати мікрозрошення як засіб введення в сільськогосподарське використання малопродуктивних (наприклад, піщаних) ґрунтів, а також схилих і рекультивованих земель.

Краплинне зрошення, поряд з перерахованими, має ще ряд переваг, які зумовлюють зростаючі темпи його застосування. До них необхідно віднести:

- суттєве зменшення витрат енергії за усіма складовими технологічного процесу зрошення;
- підвищення врожайності й покращення якості продукції;
- можливість повної автоматизації процесу управління поливом, включно з процесом очищення води й мережі, і на цій основі різке зниження трудовитрат на експлуатацію систем;
- можливість застосування індустріальних методів будівництва за рахунок високої заводської готовності елементів і вузлів систем у вигляді комплектів для певної площі;
- можливість внесення пестицидів, гербіцидів та інших засобів захисту рослин з поливною водою;
- висока екологічна безпечність зрошення.

Наведені вище основні переваги мікрозрошення, а також зростаючий дефіцит водних і енергетичних ресурсів, розвиток виробництва полімерних матеріалів, зумовили зростаючі темпи використання мікрозрошення в усьому світі та Україні зокрема.

Загальна тенденція розвитку землеробства у світі на сучасному етапі передбачає створення умов для стабільного управління режимами ґрунтів – гідрологічним, термічним, біологічним та іншими.

Визначальна роль у вирішенні цього питання належить зрошенню земель, завдяки широкому застосуванню якого істотно знижується залежність сільськогосподарського виробництва від умов природного вологозабезпечення.

У XX столітті зрошення набуло широкого розповсюдження в світі. Нині на планеті зрошується понад 270 млн га, що становить 18% загальної площі ріллі, на яких виробляється 40% обсягу сільськогосподарської продукції, тобто продуктивність одного зрошуваного гектара більше ніж удвічі перевищує продуктивність незрошуваного.

Зрошення дає можливість ряду країн успішно розв'язувати проблему власного продовольчого забезпечення. Зокрема, у США системами іригації і дренажу охоплено близько 60% сільськогосподарських земель, у Німеччині – 50%, у Нідерландах – 85% тощо.

В Україні, значна частина території якої розташована в зонах нестійкого й недостатнього зволоження, продовольче та ресурсне забезпечення також значною мірою залежить від наявності, стану та ефективності використання зрошуваних земель.

У другій половині XX століття в Україні виконано великий обсяг робіт з будівництва зрошувальних систем, найбільшими з яких є Каховська, Північно-Кримська, Інгулецька, Краснознам'янська, Дунай-Дністровська,

Приазовська та інші, що розташовані в Південному регіоні країни. Загальна площа зрошуваних земель на початок 1992 р. становила 2 млн 624 тис. га, а їх приріст порівняно з 1965 р. – 2 млн 80 тис. га. Найвищими темпи будівництва ЗС були в 1965-1985 рр., коли щороку вводили по 100 тис. га і більше поливних земель. Упродовж 1986-1991 рр. обсяги введення нових площ становили 20-30 тис. га/рік. Найбільші площі зрошення у Херсонській області (426 тис. га), Автономній Республіці Крим (402 тис. га), Запорізькій (240 тис. га), Одеській (227 тис. га), Дніпропетровській (200 тис. га), Миколаївській (191 тис. га) областях. У цей період завдяки таким значним площам та досить високому рівню використання (майже на 80% площі зрошуваних земель фактична врожайність відповідала проектному її рівню, а виробництво продукції рослинництва становило до 30% її валового виробництва в Україні) зрошувані землі виконували роль своєрідного страхового фонду в продовольчому забезпеченні держави, особливо в посушливі роки.

Але починаючи з 1991-1992 рр. і по теперішній час в Україні відбувається скорочення площ зрошуваних земель. Особливістю цього процесу є випереджаючі темпи скорочення площ фактичного поливу відносно наявної площі зрошення.

Скорочення площ фактичного поливу в Україні проходить на фоні:

- значного погіршення технічного стану наявних ЗС, особливо їхньої внутрішньогосподарської частини, практично повного призупинення робіт з реконструкції наявних і будівництва нових ЗС, що є наслідком значного скорочення обсягів бюджетного фінансування та відсутності власних коштів у землекористувачів;
- недостатньої кількості і незадовільного оновлення парку дощувальної техніки. За загальної потреби понад 30 тис. одиниць у наявності близько 6 тис. шт. дощувальних машин, із них у робочому стані менше 4 тис. одиниць;
- порушення технологічної цілісності ЗС, яка спричинена, з одного боку, паюванням земель і, як наслідок, подрібненням земельних наділів і збільшенням кількості землекористувачів, а з іншого – передачею внутрішньогосподарських систем у комунальну власність і на баланс фермерських і колективних підприємств при державній власності на міжгосподарську мережу. У таких умовах землевласник чи землекористувач у більшості випадків практично відсторонений від участі в процесі управління зрошувальними системами;
- порушення технології вирощування сільськогосподарських культур, структури посівних площ, що призвело до зниження врожайності культурних рослин;
- ускладнення управління ЗС, земельними й водними ресурсами, у тому числі й через значне збільшення кількості користувачів зрошуваними землями. Нині 2,17 млн га зрошуваних земель належить 86 тисячам

користувачів, тобто в середньому на одного користувача припадає лише близько 26 га зрошуваних угідь;

– погіршення еколого-меліоративного стану зрошуваних земель (докладніше буде висвітлено в розділі 4). Загалом по Україні, за даними меліоративного кадастру, добрий еколого-меліоративний стан мають 15-20% зрошуваних земель, 60-70% – задовільний, 15-20% – незадовільний.

Викладені вище основні складові стану зрошення земель в Україні дають підстави для характеристики його як кризового, основним негативним результатом якого стала втрата зрошуваними землями ролі страхового фонду у продовольчому та ресурсному забезпеченні держави. У той же час існує ряд природно-кліматичних і соціально-економічних передумов, які роблять неможливим подальше стале ведення землеробства в Україні без розвитку зрошення. Тому відновлення потенціалу зрошення належить до пріоритетних завдань розвитку аграрного сектора економіки України.

Останніми роками в зв'язку з суттєвим скороченням обсягів фінансування на ремонтно-експлуатаційні роботи та реконструкцію ЗС їхній технічний стан значно погіршився. За даними Держводагентства України, понад 1 млн. га (близько 40%) мають незадовільний технічний стан.

За даними гідрогеолого-меліоративної служби Держводагентства України встановлено, що найбільше зрошуваних земель, що потребують підвищення технічного рівня меліоративних систем (капітальних робіт), знаходяться в областях: Миколаївській (103,56 тис. га або 54,5% від площі зрошуваних сільгоспугідь області), Дніпропетровській (99,03 тис. га або 49,7%), Херсонській (49,61 тис. га або 11,7%), з них на Краснознам'янській ЗС – 16,3 тис. га, Каховській – 9,54 тис. га, Каланчацькій – 7,8 тис. га. У Одеській області – 40,5 тис. га або 17,9%.

Найбільші площі, які потребують комплексної реконструкції зрошувальної мережі, розташовані в Миколаївській (96,64 тис. га), Дніпропетровській (96,92 тис. га), Донецькій (44,57 тис. га), Херсонській (35,58 тис. га), Одеській областях (39,32 тис. га) та АР Крим (36,96 тис. га).

Таким чином можна стверджувати, що в умовах Степової зони України зрошення сільськогосподарських культур є високоефективним прийомом підвищення їхньої продуктивності. Але сталий позитивний ефект від зрошення забезпечується тільки за умови дотримання всіх агротехнологічних прийомів вирощування сільськогосподарських культур, що є необхідною передумовою їх ефективного використання. Тому розробка та здійснення заходів, спрямованих на поліпшення агроекологічного стану зрошуваних земель у цілому та окремих його складових входить до числа пріоритетних напрямів підвищення ефективності використання зрошуваних земель.

### **1.3. Структура осушуваних земель України**

Розвиток ринкового сільськогосподарського виробництва в надмірно зволжених регіонах нерозривно пов'язаний з проведенням осушувальної

меліорації. В системі заходів щодо інтенсифікації сільськогосподарського виробництва в гумідних областях України осушення боліт і перезволожених земель займає одне з перших місць, Це, в першу чергу, обумовлено переважанням малопридатних земель для сільського господарства та наявністю надлишкових трудових ресурсів. Більшість таких земель на протязі вегетаційного періоду знаходиться в перезволоженому стані. В західному, найбільш перезволоженому, регіоні України проживає 38% сільського населення, а питома вага заболочених і перезволожених земель складала 46,9% від площі всіх сільськогосподарських угідь. Недостача придатних для сільськогосподарського виробництва земель в значній мірі лімітувала розвиток рослинництва і тваринництва, що вимагало впровадження заходів осушувальної меліорації.

Проведення осушення земель має давню історію, але носило фрагментарний характер. Проведення широкомасштабних заходів осушувальної меліорації на перезволожених землях України почалось у другій половині XX століття. За цей період побудовано і експлуатується 1 130 осушувальних систем, в тому числі 527 міжгосподарських і 603 внутрішньогосподарських. Тільки за період з 1980 по 1990 рік загальна площа земель з осушувальною мережею зросла на 37%, покращився склад сільськогосподарських угідь і структура посівних площ. Питома вага ріллі виросла з 65,7% в 1980 р. до 70,7% в 1990 р. Із загальної площі земель з осушувальною мережею в активному сільськогосподарському виробництві використовувалося 1 976,5 тис. га, що складає 89,6%, а під лісом, кущами, торфорозробками, каналами, дорогами знаходилося 222 тис. га або 10,1%. В структурі посівних площ на осушених землях в 1990 р. переважали зернові і технічні культури (43,7%).

В процесі проектування і будівництва осушувальних систем в післявоєнний період в західних областях України можна виділити три етапи:

- 1) 1946-1960 рр. – проектування та будівництво осушувальних систем з відкритою мережею каналів;
- 2) 1961-1975 рр. – проектування і будівництво систем з матеріальним горизонтальним дренажем;
- 3) 1976-1990 рр. – проектування і будівництво сучасних систем з двобічним регулюванням водно-повітряного режиму, водозворотних і осушувально-зволожуючих систем з автоматизованим водорегулюванням.

Виходячи із сучасної практики осушення і в залежності від природних умов водного живлення заболочених і перезволожених земель в Україні застосовується два основні способи осушувальних меліорацій:

- осушення відкритими каналами, які відводять надлишок ґрунтових і поверхневих вод;
- осушення горизонтальним закритим дренажем, який спрямований на прискорення відводу із ґрунту надлишків вологи атмосферних опадів.

Проекти осушення передбачали регулювання водного режиму і, в окремих випадках, дамбування русел рік в границях осушених заплав,

перехоплення схилових, делювіальних вод нагірними каналами, прискорення поверхневого стоку, відтоку інфільтраційних вод і пониження рівня ґрунтових вод відкритою мережею каналів і гончарним дренажем. За характером дії на водний режим земель меліоративні системи України, в основному, односторонньої дії. Стік осушувальних систем не зарегульований, а застосування шлюзування обмежено. Із загальної площі осушення (2,2 млн га станом на 1990 р.) тільки на площі 450 тис. га проводилось зволоження, з них по кротовим дренам на площі 174 тис. га, інфільтрацією з відкритих каналів – 264 тис. га, дощуванням – 12 тис. га.

Відкритою мережею каналів, які побудовані в різні часи, осушуються заплави всіх головних рік і їх численних притоків.

Гончарний дренаж є основним способом осушення перезволожених і заболочених земель України, а площа осушених гончарним дренажем земель становить 1,4 млн га. Меліоративні заходи значно змінили водний режим заболочених і перезволожених земель, скоротили тривалість весняного і літньо-осіннього паводкового затоплення, понизили глибину залягання ґрунтових вод. Критерієм для визначення розрахункового водного режиму активного шару ґрунтів при проектуванні осушувальних систем слугувала норма осушення, тобто глибина залягання ґрунтових вод у певні періоди.

Ефективність проведення осушувальних меліорацій визначається врожайністю основних сільськогосподарських культур на освоєних землях. На осушених землях, які в 1990 році складали 28,7% площі сільськогосподарських угідь, було вироблено у грошовому виразі 18,6% продукції рослинництва, а в натуральних показниках : 23,2% зерна, 41,3% льону волокна, 26,5% овочів, 21,5% картоплі, 27,3% кормових коренеплодів, 12,0% багаторічних трав.

Відсутнім недоліком осушувальної меліорації в цей період було недостатнє проектування та будівництво меліоративних систем з двобічним регулюванням водно-повітряного режиму ґрунтів (20,4% від площі всіх меліоративних систем), проведення в недостатніх об'ємах агротехнічних заходів, що доповнюють дію осушувальних систем (глибоке розпушення, щільювання, кротовий дренаж, вапнування кислих ґрунтів).

Починаючи з 90-х років XX століття у зв'язку із недостатніми обсягами фінансування та змінами ставлення до осушувальної меліорації, призупинилось будівництво нових осушувальних систем, догляд і модернізація існуючих, що зумовило погіршення кислотно-основних і водно-фізичних властивостей ґрунтів, розвиток цілої низки деградаційних процесів.

Станом на 1.01.2018 року площа осушених земель України становила 3307,4 тис. га (5,5% від загальної площі держави). Структура осушених земель України, станом на 1.01.2018 р. приведена на рис. 1.1.

Переважну частину у структурі осушених земель займають сільськогосподарські землі (90,8% від площі осушених земель). Серед сільськогосподарських угідь найбільша площа зайнята під ріллею (55,0% – 1818,3 тис. га), сіножаті (17,2% – 567,1 тис. га), пасовища (16,7% – 517,4 тис.

га). Також у складі осушених земель 188,5 тис. га (5,7%) займають лісові землі, 9,7 тис. га (0,3%) – забудовані землі, 51,5 тис. га (1,6%) – перелоги, 8,1 тис. га (0,2%) – багаторічні насадження.

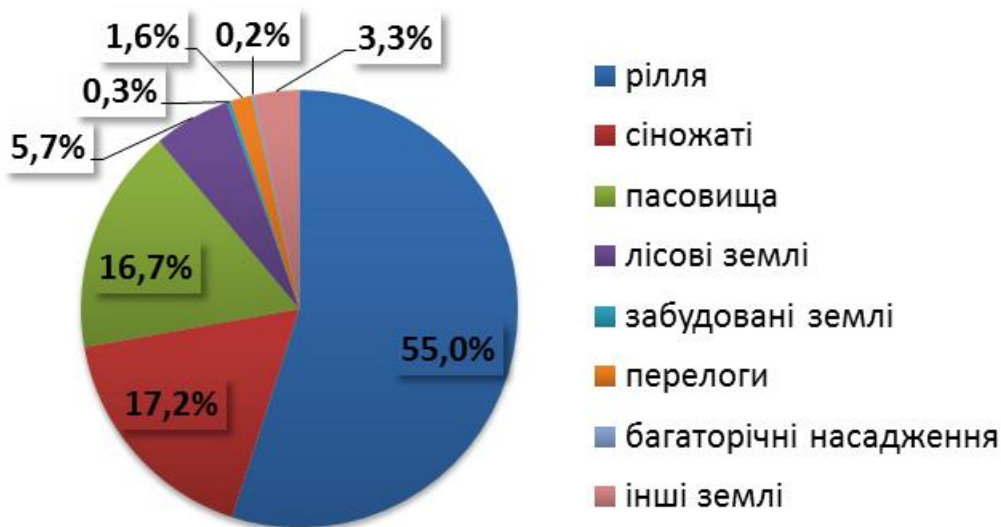


Рис. 1.1. Структура осушених земель України станом на 1.01.2018 р.

Заходи осушувальної меліорації проводились практично у всіх адміністративно-територіальних утвореннях, крім АР Крим, Дніпропетровської, Запорізької, Кіровоградської, Миколаївської, Херсонської областей, міст Київ і Севастополь (табл. 1.1).

Найбільші площі осушених земель розташовані в західних областях України: Львівській (23,5% від площі області), Волинській (20,7), Рівненській (19,5), Чернівецькій (15,0), Закарпатській (14,4%) областях. Найменшими площами осушення характеризуються Одеська (0,1%), Донецька (0,2%), Луганська (0,4), Харківська (0,4%), що обумовлено природно-кліматичними, гідрологічними умовами.

Осушені землі, які використовуються під рілля, мають подібні закономірності розподілу як сільськогосподарські землі, оскільки саме рілля переважає у їхній структурі.

Найбільші площі осушених перелогів виділяється у Житомирській (21,4 тис. га) та Івано-Франківській (14,1 тис. га) областях, що є надзвичайно низько ефективним способом використання високоокультурених земель. Осушені площі, що зайняті під багаторічними насадженнями, закономірно, найбільшу площу (43 тис. га) займають у Закарпатській області, оскільки саме тут найбільші площі цих угідь.

Осушені сіножаті найбільші площі займають у поліських областях: Волинській (98,5 тис. га) та Чернігівській (94,9 тис. га), а осушені пасовища – у Волинській (98,5 тис. га), Львівській (88,5 тис. га) областях. Використання

осушених земель, на впровадження яких були затрачені значні обсяги матеріальних і фінансових ресурсів, під пасовища і сіножаті є свідченням надзвичайно низької ефективності їхнього використання.

Таблиця 1.1

Структура осушених земель України станом на 1.01.2018 р.

№ з/п	Адміністративні утворення	Загальна площа осушених земель		Сільськогосподарські землі, в т.ч.						Лісові землі	Забудовані землі	Інші землі
		тис. га	% від загальної площі області	Всього тис. га	Рілля тис. га	Перелogi тис. га	Багаторічні насадження тис. га	Сіножаті тис. га	Пасовища тис. га			
1	АР Крим	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Вінницька область	57,3	2,2	56,5	44,6	-	0,1	5,2	6,5	0,3	-	0,5
3	Волинська	416,6	20,7	347,0	152,3	-	0,1	95,8	98,5	59,9	1,0	8,7
4	Дніпропетровська	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Донецька	4,7	0,2	4,4	1,3	-	-	0,8	2,3	0,1	-	0,2
6	Житомирська	425,4	14,3	363,3	268,9	21,4	0,6	33,3	32,8	40,6	2,1	19,4
7	Закарпатська	183,8	14,4	172,7	125,9	-	4,3	10,0	28,6	5,7	-	5,4
8	Запорізька	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	Івано-Франківська	195,5	14,0	195,2	144,0	14,1	0,5	10,5	25,1	-	-	0,3
10	Київська	188,8	6,7	172,4	94,5	0,9	0,1	35,9	21,6	2,1	0,2	14,1
11	Кіровоградська	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	Луганська	11,1	0,4	10,2	1,8	-	-	4,6	3,8	0,2	-	0,7
13	Львівська	513,2	23,5	491,1	318,8	-	0,4	82,6	88,5	15,0	3,2	3,9
14	Миколаївська	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	Одеська	4,4	0,1	4,4	2,0	-	-	1,1	1,2	-	-	-
16	Полтавська	37,2	1,3	30,5	3,3	0,1	-	19,1	7,8	3,6	0,3	2,8
17	Рівненська	390,4	19,5	326,3	180,5	5,6	0,7	69,3	64,9	34,2	1,6	28,3
18	Сумська	106,6	4,5	97,0	31,6	-	0,2	49,1	16,0	4,0	0,6	5,0
19	Тернопільська	165,6	12,0	164,2	131,7	3,1	-	8,2	20,6	0,1	-	1,3
20	Харківська	11,8	0,4	11,8	0,6	-	-	9,3	1,9	-	-	-
21	Херсонська	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	Хмельницька	117,5	5,7	116,4	89,7	-	0,1	15,0	11,3	0,5	-	0,6
23	Черкаська	55,7	2,7	45,1	14,5	0,1	0,5	19,7	9,9	7,1	0,3	3,2
24	Чернівецька	121,8	15,0	121,1	113,0	-	0,3	2,7	4,7	-	-	0,7
25	Чернігівська	300,0	9,4	272,4	99,2	6,2	0,2	94,9	71,4	15,1	0,4	12,1
26	м. Київ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	м. Севастополь	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Україна	3307,4	5,5	3002,0	1818,3	51,5	8,1	567,1	517,4	189,5	9,7	107,2

Осушення лісових земель на значних площах було проведено у Волинській (59,9 тис. га), Житомирській (40,6 тис. га), Рівненській (34,2 тис. га) областях. Найбільші площі забудованих земель, на яких було проведено осушення розташовані у Львівській області (3,2 тис. га).

Згідно відомостей державного земельного кадастру (табл. 1.2) переважна частина осушення (69,4% від площі осушення) проводиться за допомогою закритого горизонтального дренажу і тільки на 33,7% площ осушених земель проводиться двобічне регулювання водного режиму. Хоча, як показують сучасні дослідження, переважна більшість осушувальних систем з двобічним регулюванням водного режиму має односторонній характер дії, відведення надлишкових вод за межі масивів зрошення.

Таблиця 1.2

Способи осушення земель України

№ з/п	Адміністративні утворення	Загальна площа осушених земель					
		Всього		Із закритим дренажем		Із двобічними регулюванням водного режиму	
		тис. га	% від площі області	тис. га	% від площі області	тис. га	% від площі області
1	2	3	4	5	6	7	8
1	АР Крим	-	-	-	-	-	-
2	Вінницька область	57,3	2,2	51,0	89,0	3,3	5,8
3	Волинська	416,6	20,7	236,6	56,8	157,2	37,7
4	Дніпропетровська	-	-	-	-	-	-
5	Донецька	4,7	0,2	0,1	2,1	-	-
6	Житомирська	425,4	14,3	296,7	63,4	188,7	44,3
7	Закарпатська	183,8	14,4	148,5	80,8	1,9	1,0
1	2	3	4	5	6	7	8
8	Запорізька	-	-	-	-	-	-
9	Івано-Франківська	195,5	14,0	195,2	99,8	2,9	1,5
10	Київська	188,8	6,7	91,4	48,4	68,0	36,0
11	Кіровоградська	-	-	-	-	-	-
12	Луганська	11,1	0,4	0,4	3,6	10,2	91,9
13	Львівська	513,2	23,5	390,1	76,0	36,4	7,1
14	Миколаївська	-	-	-	-	-	-
15	Одеська	4,4	0,1	0,1	2,3	-	-
1	2	3	4	5	6	7	8
16	Полтавська	37,2	1,3	8,4	22,6	26,2	70,4
17	Рівненська	390,4	19,5	275,0	70,4	234,3	60,0
18	Сумська	106,6	4,5	55,7	52,3	72,9	68,4
19	Тернопільська	165,6	12,0	151,4	91,4	10,2	6,2
20	Харківська	11,8	0,4	4,2	35,6	5,6	47,4
21	Херсонська	-	-	-	-	-	-
22	Хмельницька	117,5	5,7	97,8	83,2	24,9	21,2
23	Черкаська	55,7	2,7	4,6	8,3	31,5	56,6
24	Чернівецька	121,8	15,0	121,4	96,7	-	-



продовження табл. 1.2

25	Чернігівська	300,0	9,4	167,8	55,9	241,0	80,3 .
26	м. Київ	-	-	-	-	-	-
27	м. Севастополь	-	-	-	-	-	-
	Україна	3307,4	5,5	2296,4	69,4	1115,2	33,7

Проведення осушення земельних угідь тільки за допомогою закритого горизонтального дренажу характерно для Чернівецької, Одеської, Донецької областей. Переважною часткою осушення за допомогою цього способу відзначається також Івано-Франківська, Тернопільська, Хмельницька, Вінницька області. Найбільшими площами осушення, я яке проведено за допомогою двобічного регулювання водного режиму характеризується Луганська (91,9% від площі осушення), Чернігівська (80,3%), Полтавська (70,4%), Сумська (68,4%).

## 1.4. Склад проектної документації

### 1.4.1. Угоди на виконання проектно-вишукувальних робіт

Взаємовідносини проектних установ із замовниками започатковані на угодах і визначаються «Правилами про угоди на виконання проектних і вишукувальних робіт», в яких викладені загальні положення про укладання угод, права і обов'язки замовників і проектних організацій, умови розрахунків, відповідальність сторін за виконання умов угоди.

Замовниками проектно-кошторисної документації на будівництво або реконструкцію об'єктів меліорації можуть бути: агропромислові фірми, фермерські асоціації та господарства, сільськогосподарські підприємства та інші організації і підприємства агропромислового комплексу. Замовниками можуть бути провідні проектні установи (підрядний проектувальник), який замовляє частину робіт спеціалізованим проектним установам (вишукувальним, науково-дослідним), а також спеціалізовані проектні організації, які замовляють частину робіт іншим спеціалізованим проектним установам.

Відповідно до умов, погоджених обома сторонами, складається угода.

В угоді визначаються терміни виконання і вартість проектно-вишукувальних робіт. До угоди додається: кошторис на проектно-вишукувальні роботи; довідка замовника про забезпечення фінансування робіт; графік термінів надання замовником необхідних для проектування вихідних даних та закінчення передбачених угодою робіт.

Для укладання угоди проектна організація повинна за гарантійним листом замовника взяти участь у підготовці завдання на проектування.

В останній час, в зв'язку з переходом на ринкові економічні відносини, все частіше замовники користуються так званим тендером. Тендер – конкурс серед проектних установ, які бажають отримати замовлення на виконання проектних робіт. У замовника з'являється можливість вибору не лише

технічної документації, а й вартості проектно-вишукувальних робіт, термінів їх виконання.

#### ***1.4.2. Завдання на проектування***

Завдання на проектування осушувальних систем складається на основі схеми комплексного використання і охорони водно-земельних ресурсів, а великих та складних систем і споруд – за техніко-економічним обґрунтуванням.

Завдання має вміщувати такі дані: назва осушувальної системи; місцезнаходження; підстави для проектування; призначення меліоративної системи; напрямок розвитку сільськогосподарського виробництва; тип господарства, ферми, комплексу або підприємства, яке буде освоювати меліоровані землі; головні вимоги до конструкції меліоративної мережі і способи регулювання водного режиму ґрунтів; дані для проектування об'єктів житлового, побутового і виробничого призначення; стадійність проектування; терміни будівництва і освоєння; назви проектною і будівельною організації; терміни окупності запроектованих заходів.

Якщо завданням передбачається проектування каналів або споруд у межах населених пунктів, замовник проекту видає проектній організації архітектурно-планувальне завдання, будівельний паспорт ділянки, технічні умови на підключення до інженерних мереж та споруд, відомості про існуючу забудову.

Завдання на проектування узгоджується з відповідними установами територіальних громад.

#### ***1.4.3. Проектна документація для будівництва***

Проекти осушувальних систем всіх типів мають забезпечити: сучасний технічний рівень; раціональне використання осушуваних земель і сільськогосподарської техніки при польових роботах; надійність і довговічність запроектованих споруд; підтримку оптимальної вологості в кореневому шарі ґрунту; максимальний рівень індустріалізації будівельних робіт.

Зміст, склад, порядок розробки, узгодження і затвердження проектів та кошторисів на будівництво осушувальних систем визначаються "Інструкцією про порядок розробки, узгодження і затвердження проектно-кошторисної документації на будівництво підприємств, будинків і споруд", ДБН А.3.1-5:2016 «Організація будівельного виробництва», а також тимчасовими будівельними нормами.

Проектування меліоративних систем може здійснюватися в одну (робочий проект) і дві стадії (проект і робоча документація). Технічно нескладні об'єкти та споруди проектують за типовими або такими, що використовуються проектами. Рішення про стадійність проектування приймає установа, яка затверджує завдання.

Нове будівництво, розширення та реконструкцію існуючих меліоративних систем проектують на основі рішень, викладених у затвердженому техніко-економічному обґрунтуванні (ТЕО) або техніко-економічному розрахунку (ТЕР), а також прийнятих у схемі комплексного використання і охорони водно-земельних ресурсів басейнів річок. ТЕО, ТЕР і схема називаються передпроектними документами.

#### ***1.4.4. Техніко-економічне обґрунтування***

ТЕО є передпроектним документом, який уточнює і доповнює схеми водогосподарських заходів щодо обґрунтування основних техніко-економічних показників обраного об'єкта осушення.

Під час розробки ТЕО враховуються найновіші досягнення науки і техніки для того, щоб меліоративна система на час вводу її в експлуатацію була технічно досконалою і забезпечила отримання проектних врожаїв сільськогосподарських культур.

У ТЕО проектування і будівництва осушувальних або осушувально-зволожувальних систем мають бути вирішені такі головні питання: межі об'єкта; аналіз існуючого використання водно-земельних ресурсів; напрямок сільськогосподарського виробництва; потрібні меліоративні заходи; фінансові витрати; економічна ефективність; техніко-економічні показники; доцільність проектування і будівництва об'єктів; встановлення першої черги будівництва.

ТЕО оформляють у вигляді пояснювальної записки з додаванням необхідних розрахункових, табличних і графічних матеріалів.

#### ***1.4.5. Робочий проект***

Робочий проект для технічно нескладних осушувальних і осушувально-зволожувальних систем та об'єктів розробляється відповідно до «Еталону складу і оформлення робочого проекту осушувальної (осушувально-зволожувальної) системи», який визначає склад і порядок викладення матеріалів, зміст і послідовність пояснювальної записки, перелік креслень.

Робочий проект має складатися з таких розділів:

Розділ 1. Пояснювальна записка.

Графічні додатки.

Розділ 2. Робоча документація.

Меліоративне будівництво. Робочі креслення.

Сільське виробниче і невиробниче будівництво.

Робочі креслення.

Зведені витрати і зведені кошторисні розрахунки.

Об'єктні та локальні кошториси.

Кошториси з проектних та вишукувальних робіт.

Паспорт робочого проекту.

Текстові та графічні матеріали оформляють згідно з діючими нормативними документами.

Графічні додатки вміщують:

1. Генеральний план меліоративної системи /М 1:5000, 1:10000 або 1:25000/ з зазначенням основних технічних рішень.
2. План меліоративної системи /М 1:2000 або 1:5000/ із зображенням існуючих і запроектованих споруд і заходів.
3. Грунтово-меліоративна та інженерно-меліоративна карта/М 1:5000 або 1:10000/.
4. Типові інженерно-геологічні профілі.
6. Ботаніко-культуртехнічна карта /М 1:5000/.
7. Поздовжні та поперечні профілі існуючих лінійних споруд / каналів, колекторів/.
8. Схеми електропостачання та зв'язку.
9. Креслення гідротехнічних споруд, які виконуються за індивідуальними проектами.

#### ***1.4.6. Проект і робоча документація***

Технічно складні осушувальні і осушувально-зволожувальні системи проектуються у дві стадії – проект і робоча документація.

У проекті наводиться оцінка природних умов, водно-земельних ресурсів, технічних рішень, організації території господарства, комплекс меліоративних заходів, організація будівництва і його терміни з зазначенням пускових комплексів, кошторисна вартість будівництва, техніко-економічні показники.

Проектом повинні враховуватися вимоги, які зазначені в регіональних схемах комплексного використання водно-земельних ресурсів, ТЕО, а також у відомчих нормативних документах.

Великі і складні осушувальні системи споруджуються чергами. Проектування таких систем розпочинається із складання генерального плану меліоративної системи з урахуванням її повного розвитку. У схемі генерального плану розробляються основні проектні рішення, потрібні для визначення вартості системи, ефективності капіталовкладень, обґрунтовується виділення першої черги будівництва.

Проект осушувальної системи містить такі матеріали:

- схему генерального плану;
- загальну пояснювальну записку з коротким викладенням проекту і обґрунтуванням прийнятих рішень;
- опис природних умов;
- сільськогосподарське використання меліорованих земель;
- організацію будівництва і виконання робіт;
- кошториси;
- експлуатацію меліоративної системи;
- техніко-економічну частину.

Проект розробляють без надлишкової деталізації, а розділи викладають у лаконічній формі, обґрунтовують прийняті рішення з урахуванням

варіантних проробок, а виконані розрахунки і показники формують в основному у формі таблиць.

#### ***1.4.8. Типові та індивідуальні проекти***

Одним з головних напрямків підвищення якості, скорочення термінів і зниження вартості проектування і будівництва є широке використання типових і повторних проектів для об'єктів масового меліоративного будівництва.

Типові проекти осушувальних систем потрібно прив'язувати до місцевих умов будівництва з врахуванням кліматичних, топографічних, геологічних і гідрогеологічних особливостей району. У типові проекти можуть бути внесені зміни в зв'язку з використанням прогресивніших технологічних процесів і конструктивних рішень. Індивідуальні проекти розробляють за відсутності типових проектів. При цьому використовують уніфіковані схеми, конструкції, споруди, обладнання і деталі.

Діючі і обов'язкові для використання типові проекти подають у спеціальних переліках. Типові проекти, не зазначені в переліках, вважаються виключеними з числа діючих.

#### ***1.4.9. Документи з організації будівництва***

В складі проекту осушувальної або осушувально-зволожувальної системи розробляються і затверджуються проект організації будівництва /ПОБ/ та проект виконання робіт /ПВР/. Проектом організації будівництва встановлюються: терміни, склад, обсяг і послідовність виконання робіт підготовчого періоду; обсяги, методи, послідовність і терміни виконання будівельно-монтажних робіт; потреба в матеріально-технічних ресурсах; вимоги комплексної механізації та автоматизації; склад і розміщення тимчасових будівель і споруд; потреба в будівельних і меліоративних машинах, транспорті; рішення з організації виробничої і житлово-побутової бази; терміни будівництва; терміни поставки обладнання; обсяг капітальних вкладень по роках.

Основні документи проекту виконання робіт: календарний план будівництва; відомість обсягів основних будівельно-монтажних робіт; перелік і обсяг підготовчих робіт; визначення пускових комплексів. До його складу також входять: перелік тимчасових споруд і комунікацій; будгенплан; робочі креслення прив'язки тимчасових будівель і споруд; технологічні карти на складні роботи, які виконуються новими методами; робочі креслення тимчасових будівель і споруд; пояснювальна записка.

#### ***1.4.10. Оформлення і розмноження проектної документації***

Залежно від характеру, складності і глибини розробки закінчені проектні матеріали осушувальних систем формують в одну або декілька книг.

Проекти розробляються відповідно до діючих норм, правил, інструкцій державних стандартів, що засвідчується підписом головного інженера

проекту на зворотній стороні титульної сторінки пояснювальної записки.

Текстова частина проекту друкується через півтора інтервала з обох боків стандартних аркушів паперу формату А4. Таблиці можуть бути надруковані на папері форматом А4 або А3. Специфікації всіх видів повинні мати графі з вертикальним порядком їх заповнення. Формули або символи в тексті пишуть чорним чорнилом, пастою, тушшю або спеціальним олівцем.

Вишукувальні і проектні матеріали брошурують. Для креслень виготовляють спеціальні теки. Технологічні та інші розрахунки, документацію з польових вишукувань відносять до нерозмножуваних матеріалів і замовнику не видають, а зберігають у незброшурованому вигляді в технічному архіві проектної установи.

Вся проектна і конструкторсько-технологічна документація оформляється відповідно до діючих положень Системи проектної документації з будівництва /СПДБ/ та Єдиної системи конструкторської документації /ЄСКД/. Прив'язку типових проектів і повторне використання креслень оформляють спеціальним штампом, який підписує особа, що здійснила прив'язку, та керівник проектного відділу.

Проектні роботи можуть бути істотно раціоналізовані впровадженням прогресивних методів проектування, систем автоматизованого проектування (САПР), широкого використання комп'ютерів, а також іншими засобами, які прискорюють процес проектування і покращують умови праці проектувальників. Наприклад, при розробці великих і складних осушувальних і осушувально-зволожувальних систем, має сенс, як це зроблено в інституті «Укрводпроект», використати макетно-модельний метод проектування, який забезпечує просторову наочність проектних рішень і своєчасне попередження можливих помилок. Використання сучасних комп'ютерів дає змогу виконувати багатоваріантні проробки технічних рішень і відмовитись від спрощень у розрахунках, що забезпечує більш економічні і надійні проектні рішення.

#### ***1.4.11. Узгодження, експертиза і затвердження проекту***

Проекти і робочі проекти на будівництво осушувальних систем, розроблені відповідно до діючих правил і норм, підлягають узгодженню з органами державного нагляду. Це здійснюють установи державного санітарного, екологічного, пожежного і енергетичного нагляду, а також водні інспекції на всіх стадіях і етапах проектування.

Кошторис на будівництво меліоративної системи узгоджується з генеральною підрядною будівельною організацією до початку будівництва замовником проекту за участю представника проектної установи.

Державній експертизі підлягають: ТЕО, проекти, типові проекти та інші проектні матеріали. Робочі креслення експертизі не підлягають. Мета експертизи – забезпечити високий технічний рівень проектних рішень, прогресивні техніко-економічні показники і високу ефективність капіталовкладень. Під час експертизи проектів перевіряються: відповідність

прийнятих рішень затвердженому завданню; обґрунтування господарчої необхідності, технічної можливості і економічної доцільності будівництва; обсяг, склад і якість вишукувальних матеріалів, обґрунтування спеціалізації сільського господарства на меліорованих землях; організація технічної експлуатації; рішення з питань енергопостачання, телефонізації, шляхової мережі; використання діючих типових проектів; відповідність прийнятих термінів будівництва нормативним; кошторисна вартість; економічна ефективність капітальних вкладень. У висновках експертизи дається оцінка прийнятим проектним рішенням і показникам, зазначається, які зміни потрібно внести в проект до його затвердження. Загальні висновки дають узагальнену оцінку якості проекту і рекомендації щодо його затвердження чи відхилення. При необхідності доробки проект повертається проектній установі, яка здійснює доробку і в установлені строки знову передає його на експертизу.

Порядок проведення експертизи і затвердження проектів меліоративних систем різний для будівництва місцевого та державного підпорядкування і залежить від характеристики об'єкта та його кошторисної вартості.

Виготовлена технічна документація видається замовнику у терміни, передбачені угодою.

#### ***1.4.12. Авторський нагляд***

Авторський нагляд за будівництвом водогосподарсько-меліоративних об'єктів здійснюється проектною установою, якщо проектом передбачаються складні технічні рішення, нові конструкції і технологічні процеси. Авторський нагляд проводиться з метою підвищення якості, скорочення термінів, зниження вартості будівництва.

Проектні організації, які здійснюють авторський нагляд, зобов'язані : слідувати за відповідністю побудованих меліоративних систем затвердженим проектам; контролювати технологію проведення будівельно-монтажних робіт; інформувати замовника, будівельну установу і банк про всі випадки відхилення від проекту і неякісне виконання робіт; забезпечити своєчасне вирішення технічних питань з проектною документацією, які виникають в процесі будівництва; своєчасно ставити вимоги до усунення виявлених недоліків.

Проектні установи разом з будівельними організаціями несуть відповідальність за будівництво, за яким здійснюється авторський нагляд. Вказівки і пропозиції проектною установою, яка здійснює авторський нагляд, вносять в Журнал авторського нагляду, який надається як обов'язковий документ комісії, що приймає об'єкт в експлуатацію.

### ***Контрольні питання***

1. У чому полягає головна мета водогосподарського комплексу?
2. Назвіть найбільші ріки та канали України, а також їх значення для народного господарства.
3. Які основні завдання Державного агентства водних ресурсів України?
4. Розв'язання яких питань вимагає подальший розвиток зрошення в Україні?
5. Перерахуйте основні переваги краплинного зрошення.
6. Назвіть основні етапи розвитку будівництва осушувальних систем в гумідній зоні України.
7. В яких областях України розташовані найбільші площі осушених земель?
8. Назвіть фази життєвого циклу проекту.
9. Назвіть основних учасників інвестиційного проекту.
10. Вкажіть основні особливості водогосподарських проектів.



## Тема 2. Автоматизоване проектування

### 2.1. Передумови створення та реалізації САПР, сутність та складові проектної справи

Вести мову про автоматизацію проектування можливо лише маючи чітке уявлення про послідовність і зміст цього процесу.

**Проектування** – це процес розробки описання, необхідного для створення ще не існуючого об'єкта. Цей процес включає розробку комплексу технічної документації, в якій містяться ТЕО, розрахунки, креслення, кошториси, пояснювальні записки, які потрібні для будівництва об'єкта.

Проектування відповідає інформаційному процесові, в якому здійснюється перетворення вхідної інформації про об'єкт, що проектується, стану знань у відповідній галузі та досвіду попереднього аналогічного проектування в вихідну інформацію у вигляді проектних документів, які містять **проектні рішення** або результати проектування.

Проміжне чи остаточне описання об'єкта проектування, необхідне і достатнє для розгляду і визначення дальшого напрямку або закінчення проектування, називається **проектним рішенням**.

Проектна діяльність має ряд специфічних **особливостей**:

- продуктом проектної діяльності є фактично якась модель об'єкта, який реально ще не існує;
- процедури проектування реального об'єкта – це перетворення його початкового описання (технічного завдання);
- проектування має імітаційний багатоваріантний характер, для прийняття рішень застосовуються різні науково-технічні знання.

Проектування може здійснюватись в одну або дві стадії.

*Одностадійне проектування* – робочий проект із зведеним кошторисом вартості.

*Двостадійне проектування* – проект на першій стадії із зведеним розрахунком вартості, на другій стадії – робоча документація з кошторисами.

Створенню системи автоматизованого проектування об'єкта, як правило, передують системне обстеження об'єкта проектування і використання в інженерній практиці неавтоматизованих методів та прийомів проектування, технічної документації, яка розробляється в процесі проектування.

В результаті обстеження визначаються необхідність і економічну ефективність створення автоматизованої системи. При цьому враховуються обсяг проектно-конструкторських робіт, їх періодичність, загальні витрати інженерної праці, можливість створення адекватного математичного опису та оптимізаційних процедур, необхідність підвищення техніко-економічних показників проектного об'єкта та зменшення термінів проектування і т.д.

Істотною обставиною при вирішенні питання про доцільність створення системи автоматизованого проектування є підготовленість відповідного проектного підрозділу (проектний інститут, конструкторське бюро і т.д.) до створення та запровадження САПР. Підготовленість до створення САПР може бути оцінена за такими ознаками:

- наявності математичних моделей об'єктів проектування і можливість їх реалізації на комп'ютері в процесі проектування;
- наявності технічних засобів (комп'ютера, периферійних пристроїв) і визначення необхідності установки додаткових технічних засобів;
- готовності інформаційних фондів як в сенсі їх впорядкованості з метою зберігання на машинних носіях, так і організованості технічних засобів зберігання і обробки інформації.

Крім оцінки підготовленості до розробки повинні бути виконані оцінки підготовленості до впровадження розробленої САПР. Ця оцінка включає в себе такі додаткові чинники:

- підготовленість кадрів проектно-конструкторської організації до роботи в умовах САПР;
- відповідність впроваджуваної системи прийнятій організації проектних робіт;
- психологічна підготовленість колективу до експлуатації САПР і практичного використання результатів автоматизованого проектування;
- ставлення керівництва проектно-конструкторської організації до впровадження і використання, системи.

Негативні оцінки з будь-якого аспекту даної проблеми свідчать про необхідність проведення підготовчих робіт по розробці і впровадженню САПР у відповідній проектній організації.

Процес проектування складних систем є складною динамічною системою, у якій поєднуються зусилля багатьох спеціалістів: проектувальників, конструкторів, науковців. Потрібно шукати шляхи покращення проектною справи. Такими шляхами є:

- застосування і вдосконалення методик прийняття рішень;
- розвиток методів варіантного проектування;
- уніфікація та типізація проектних рішень;
- автоматизація проектування.

## **2.2. Декомпозиція проектних задач і системний підхід**

Серед методологічних напрямків у проектуванні останнім часом значного розповсюдження отримав системний підхід.

Основні риси системного підходу:

1. Параметричний опис - вихідний рівень дослідження об'єкта; базується на емпіричних спостереженнях, опису властивостей, ознак і відношень між досліджуваним об'єктом і навколишніми об'єктами.

2. Структурний опис – виконується після виявлення параметрів; передбачає виявлення елементарної будови об'єкта. Основна задача – виявити взаємозв'язок властивостей і ознак, виявлених при параметричному описі.

3. Функціональний опис – виконується, виходячи з функціональної залежності між параметрами (функціонально-параметричний опис) та між частинами об'єкта (функціонально-структурний опис).

При вивченні об'єкта з використанням системного підходу увага звертається на структуру об'єкта (системи) і на властивості його частин, що виявляються у взаємодії. Система синтезує частини таким чином, що самостійне їх існування стає неможливим, оскільки частини складають основу даної системи.

Система – це сукупність виділених реальних або уявних об'єктів за умови, що:

- задані зв'язки, що існують між об'єктами,
- кожний з елементів всередині системи неподільний;
- з навколишнім середовищем система взаємодіє, як ціла;
- в між об'єктами в різні моменти часу можна провести однозначні відповідності.

Зв'язки в системах бувають: взаємодії, побудови (структурні), функції снування.

Декомпозиція – це розбиття задачі на складові частини. Розрізняють такі рівні декомпозиції:

- системний – загальний опис призначення об'єкта і його зв'язків з урахуванням взаємодії з навколишнім штучним і природним середовищем;
- архітектурний – структурний опис об'єкта;
- функціональний – опис законів функціонування підсистем об'єкта або рішення задачі працездатності об'єкта як системи заданої структури;
- елементний (конструктивний) – опис елементів системи.

Можливі інші, специфічні підходи, до об'єкта, що проектується, які відповідають нижчепереліченим рівням декомпозиції:

- для конструктивних об'єктів: функціонально – структурний, просторової компоновки, кінематичної моделі, технічної моделі, робочої моделі та ін.;
- для технологічних процесів – принципова схема технологічного процесу, маршрутного процесу, операційного технологічного процесу, технологічних наладок та ін.

При створенні та експлуатації САПР об'єкт розглядається як технічна система

Технічна система – абстрактне відображення комплексу взаємозв'язаних технічних засобів, що забезпечують перетворення маси, енергії та інформації.

Суттєвою рисою технічних систем є існування зв'язків і перетворень. Кількість зв'язків визначає складність системи. Технічну систему можна описати:

- блок-схемою;
- графіком;
- аналітичне;
- з допомогою матриці.

При системному підході будь-який об'єкт розглядається, як деяка система, яку можна поділити на підсистеми більш низького порядку. Підсистеми самого низького порядку є елементами, властивості їх впливають на другі підсистеми і на систему в цілому.

Ієрархія САПР відображає загальну технологію проектування різних об'єктів і систем, передбачає рад основних стадій розробки (базові проектні процедури).

### 2.3. Визначення і класифікація САПР

Автоматизація проектування виникла і розвивається на основі загальної теорії проектування. На відміну від традиційного проектування, що у більшому ступені спирається на творчі методи, в автоматизованому проектуванні переважають методи математичного моделювання, порівняння варіантів і оптимізації рішень.

*Система автоматизованого проектування (САПР)* – організаційно-технічна система, що складається з комплексу засобів автоматизації проектування, який взаємозв'язаний з необхідними підрозділами проектною організації або колективом фахівців (користувачів системи) і виконує автоматизоване проектування.

Класифікація САПР необхідна для типізації, уніфікації і стандартизації різних типів САПР. Для об'єктивної оцінки САПР необхідно застосовувати кілька показників, які відображають як властивості системи стосовно процесу проектування, так і її експлуатаційні характеристики.

*За змістом* САПР є комплексом обчислювально-пошукових програм, що включають окремі інформаційні масиви і бази даних, графічних та керуючих програм, за допомогою яких забезпечується виконання в автоматизованому режимі інженерних розрахунків, графічних робіт, вибір варіантів проектних і організаційних рішень тощо.

**САПР класифікують за такими ознаками:**

- 1) *за рівнем формалізації* вирішуваних задач – побудовані на цілком формалізованих методах рішення проектних задач; що виконують проектні роботи, які не піддаються повній формалізації; що організують пошук рішення неформалізованих задач;
- 2) *за функціональним призначенням* – розрахунково-оптимізаційні; графічні; автоматизованого проектування конструкцій; графоаналітичні; підготовки технічної документації; обробки результатів експериментальних досліджень; інформаційні;
- 3) *за спеціалізацією* – спеціалізовані та інваріантні;

- 4) *за технічною організацією* – системи на базі одного достатньо продуктивного комп'ютера (однорівневі); системи з централізованим керуванням (багаторівневі).

**За масштабом застосування** розрізняють наступні види САПР:

- 1) Унікальні САПР – створюються для рішення складних задач. САПР такого рівня мають, як правило, міжгалузевий характер.
- 2) Універсальні САПР галузевого призначення, що забезпечують проектування номенклатури технічних виробів галузі.
- 3) Спеціалізовані САПР проектної організації, що реалізують можливість використання ефективних математичних моделей, методів моделювання й оптимізації на всіх основних стадіях проектування конкретного об'єкта.
- 4) Індивідуальні САПР, призначені для виконання окремих видів інженерних розрахунків і проектних робіт.

Відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТУ 23501.108-85, САПР характеризують наступні вісім класифікаційних ознак, які можна розділити на три групи, причому по кожній ознаці зазначений діапазон його значень або форм прояву:

**1 група – особливості об'єкта проектування:**

**1) тип об'єкта проектування:**

- 1 – САПР виробів машино- і приладобудування;
- 2 – САПР технологічних процесів у машино- і приладобудуванні;
- 3 – САПР об'єктів будівництва;
- 4 – САПР організаційних систем;
- 5-9 – резервні, призначені для кодування САПР, що не відносяться до чотирьох угруповань, зазначених вище.

**2) різновид об'єкта проектування;**

**3) складність об'єкта проектування:**

- 1 – простий (до  $10^2$  складових частин в об'єкті проектування);
- 2 – середньої складності (від  $10^2$  до  $10^3$ );
- 3 – складний (від  $10^3$  до  $10^4$ );
- 4 – дуже складний (від  $10^4$  до  $10^6$ );
- 5 – надскладний (вище  $10^6$ ).

**2 група – можливості системи:**

**4) рівень автоматизації проектування** (відношення числа автоматизованих процедур до їхньої загальної кількості):

- 1 – низький (до 25%),
- 2 – середній (від 25 до 50%),
- 3 – високий (вище 50%).

**5) комплексність автоматизації проектування:**

- 1 – одноетапна САПР;
- 2 – багатоетапна САПР;
- 3 – комплексна САПР.

**6) характер проектних документів, що випускаються:**

- 1 – текстові документи;

- 2 – текстові і графічні документи;
- 3 – документи на машинних носіях;
- 4 – документи на фотоносіях;
- 5 – документи на двох типах носіїв;
- 6 – документи на всіх типах носіїв.
- 7, 8 і 9 – залишені резервними.

**7) число проектних документів, що випускаються:** (у перерахуванні на формат А4):

- 1 – САПР малої продуктивності (до  $10^5$  документів за рік);
- 2 – САПР середньої продуктивності (від  $10^5$  до  $10^6$ ),
- 3 – САПР високої продуктивності (вище  $10^6$ ).

### **3 група – особливості технічної бази САПР:**

**8) число рівнів у структурі технічного забезпечення САПР:**

- 1 – однорівнева САПР (на базі комп'ютера загального призначення);
- 2 – дворівнева САПР (на базі локальної обчислювальної системи);
- 3 – трьохрівнева САПР (система, доповнена креслярськими автоматами, установкою для виготовлення фотошаблонів, засобами контролю керуючих програм для технологічного устаткування й інших технічних засобів).

Система класифікації може бути доповнена ще однією ознакою:

### **За ступенем автоматизації:**

- з частковою автоматизацією;
- автоматизовані;
- діалогові автоматизовані;
- автоматичні;
- які самопристосовуються;
- які самоорганізуються.

## **2.4. Передумови для створення та реалізації САПР в меліоративному виробництві**

В проєкті будівництва водогосподарських об'єктів, як правило висвітлюються такі основні питання:

1. Загальні відомості про об'єкт будівництва (вступ, ТЕП).
2. Природні умови.
3. Організація сільськогосподарського виробництва.
4. Меліоративне будівництво.
5. Насосні станції.
6. Електрообладнання, автоматизація, зв'язок.
7. Зовнішнє електропостачання.
8. Заходи з охорони природи та навколишнього середовища.
9. Технічна експлуатація.
10. Організація будівництва, кошторисні розрахунки.
11. Економічна ефективність запроектованих заходів.

До складу робочої документації входять: робочі креслення; кошториси; відомості обсягів будівельно-монтажних робіт і потреби в матеріалах; збірники специфікацій устаткування виробів та матеріалів, проектно-кошторисної документації на будівництво будинків і споруд.

В склад робочої документації проектів будівництва водогосподарських об'єктів входять: робочі креслення; кошториси; відомості обсягів будівельно-монтажних робіт і потреби в матеріалах; збірники специфікації обладнання; проектно-кошторисна документація на будівництво гідротехнічних споруд, які входять до пускового комплексу.

У робочих кресленнях уточнюються і деталізуються технічні рішення тією мірою, якою це потрібно для виконання будівельно-монтажних робіт.

Робочі креслення містять: перелік креслень; уточнений генплан; плани внутрішньогосподарської мережі; поздовжні та поперечні профілі каналів, дрен, колекторів, дамб і доріг; плани вирівнювання території; відомості прив'язки типових споруд і будівель; креслення індивідуальних ГТС; монтажні креслення конструкцій; креслення мережі енергозабезпечення, зв'язку, автоматики; специфікації обладнання, арматури, труб та ін.

#### ***Основні напрямки діяльності проектних інститутів системи Держводагентства:***

- забезпечення проектами будівництва і реконструкції зрошувальних і осушувальних систем;
- проектування протиаводкових споруд на річках, протиерозійних споруд;
- проектування ставків і водосховищ комплексного та меліоративного призначення;
- проектування систем водопостачання і групових водоводів; станцій очищення води;
- розробка схем комплексного використання водних ресурсів; паспортів річок тощо.

Необхідно мати на увазі, що водогосподарські проекти мають певні особливості та відмінності від проектів, здійснюваних в інших галузях:

- визначальна залежність отриманого еколого-економічного ефекту від погодно-кліматичних умов;
- використання, крім матеріальних і трудових, специфічних видів ресурсів
- природних (земельні, водні тощо);
- застосування специфічної технології: технологія водорегулювання меліорованих земель (система об'єктів інженерної інфраструктури, основних меліоративних фондів, технологічних процесів) та агротехніка (система основних сільськогосподарських фондів, методи і способи посіву, внесення добрив тощо).

Саме з урахуванням таких особливостей, меліоративні проекти необхідно розглядати як **складні природно-технічні системи**, що характеризуються тісним зв'язком технічних заходів з усіма компонентами природного середовища.

Застосування систем автоматизованого проектування при проектуванні водогосподарсько-меліоративних об'єктів потребує, в першу чергу, уточнення базових проектних процедур, що пов'язане з вибором найкращого проектного рішення на багатоваріантній основі.

У свою чергу, загальна технологія проектування складних об'єктів, процесів і систем на багатоваріантній основі передбачає, порівняно з відповідно існуючими в практиці проектування меліоративних систем, реалізацію наступних базових процедур:

- попереднє (пошукове) проектування шляхом вибору й обґрунтування можливих варіантів проектних рішень в умовах реального об'єкта;

- подальше уточнення і конкретизація загальних структурних схем об'єкту за вибраними до розгляду можливими варіантами. Для меліоративних, в першу чергу, тип та конструкція системи як компоновка певного набору (кількісного та якісного) відповідних технічних елементів (регулюючих споруд, насосних станцій тощо);

- пошук оптимального проектного рішення з вибраної сукупності можливих варіантів. Сутність оптимізації при цьому зводиться до пошуку найкращого (з можливих) проектного рішення, яке дає мінімум (максимум) деякої цільової функції, що характеризує загальну (комплексну) ефективність об'єкта, що проектується.

Отже для реалізації оптимізації головною умовою є наявність альтернатив, тобто сукупності можливих варіантів проектних рішень щодо природно-агро-меліоративних умов реального об'єкта.

### ***Контрольні питання***

1. Яке призначення та мета розробки систем автоматизованого проектування?
2. Що таке автоматичне, автоматизоване та неавтоматизоване проектування?
2. Що собою являє функціональна частина САПР?
3. На які класифікаційні угруповання поділяють САПР?
4. Які основні риси системного підходу?
5. На які рівні розрізняють декомпозицію проектних задач?



## Тема 3. Етапи проектування та структура САПР

### 3.1. Базові проектні процедури

Процес проектування складається з проектних процедур і операцій.

*Проектна процедура* - формалізована сукупність дій, виконання яких закінчується прийняттям рішення.

*Проектне рішення* - проміжний або кінцевий опис об'єкта, необхідний і достатній для розгляду і визначення подальшого напрямку або закінчення проектування.

Проектна процедура складається з елементарних проектних операцій з чітко встановленим порядком їх виконання і направлена на досягнення локальної мети в процесі проектування.

*Проектна операція* - дія або формалізована сукупність дій, складова частина проектної процедури, алгоритм якої лишається незмінним для ряду проектних процедур.

Проектна процедура характеризується набором параметрів (групою), що включають в загальному випадку вхідні дані, обмеження, математичну модель, рішення процедуру, проектне рішення і критерій оцінки проектного рішення.

Проектні процедури ґрунтуються на мовах проектування, які служать засобом лінгвістичного чи графічного представлення і перетворення опису при проектуванні.

Проектна процедура називається типовою, якщо вона призначена для багаторазового використання при проектуванні багатьох типів об'єктів.

Розрізняють проектні процедури аналізу і синтезу. Синтез полягає в створенні опису об'єкта, а аналіз – у визначенні властивостей та дослідженні працездатності об'єкта по його опису, тобто при синтезі створюються, а при аналізі оцінюються проекти об'єктів.

*Процедури аналізу* діляться на процедури одно- і багатоваріантного аналізу. При одноваріантному аналізі задані значення внутрішніх і зовнішніх параметрів, необхідно визначити значення вихідних параметрів об'єкта. Багатоваріантний аналіз полягає в дослідженні властивостей об'єкта в деякій області простору внутрішніх параметрів.

*Процедури синтезу* діляться на процедури структурного і параметричного синтезу. Метою структурного синтезу є визначення структури об'єкта – переліку типів елементів, що складають об'єкт та способу зв'язку елементів між собою в складі об'єкта. Параметричний синтез полягає у визначенні числових значень параметрів елементів при заданих структурі та умовах працездатності на вихідні параметри об'єкта, тобто при параметричному синтезі необхідно знайти точку або область в просторі внутрішніх параметрів, в яких виконуються ті чи інші умови.

### 3.2. Підсистеми САПР

Як будь-яка система САПР може бути розбита на підсистеми різного ієрархічного рівня й компоненти, які за тою або іншою ознаками виділяються із загальної системи. За такі ознаки можуть бути прийняті функції, виконувані тією або іншою частиною системи; характер об'єкта, з яким працює дана підсистема; рівні абстрагування при рішенні проектного завдання; засоби проектування, що входять у дану підсистему (технічні, програмні, організаційні тощо); ступінь універсальності підсистеми.

*Підсистема САПР* – це структурна частина САПР, що володіє всіма властивостями системи.

Такими, наприклад, є підсистеми конструкторського й технологічного проектування, підсистеми проектування деталей і складальних одиниць, проектування різного роду механізмів, підсистема проектування ходових систем й т.п.

Підсистеми САПР можуть бути *проектуючі* і *обслуговуючі*.

*Проектуючі підсистеми* безпосередньо беруть участь у виконанні проектних процедур, реалізують певний етап проектування або групу зв'язаних проектних завдань. Прикладами проектуючих підсистем є: підсистема ескізного проектування; підсистема проектування корпусних деталей; підсистема проектування технологічного процесу механічної обробки.

*Обслуговуючі підсистеми* мають загальносистемне застосування й забезпечують функціонування проектуючих підсистем, а також оформлення, передачу й видачу отриманих у них результатів. Прикладами обслуговуючих підсистем є: система керування базами даних; підсистема документування; підсистема графічного введення–виведення.

Кожна із підсистем САПР може бути визначена як комплекс програмних засобів, призначених для виконання певного процесу проектування, а програмні компоненти взаємопов'язані з технічними засобами САПР.

Існуючий вітчизняний і зарубіжний досвід у галузі автоматизації проектування свідчить про те, що розробка, впровадження і ефективне використання програмних комплексів призначених для автоматизації процесу проектування, які реалізовані на базі сучасних комп'ютерів вимагають комплексного рішення широкого спектру питань: організаційних, технічних, математичних, програмних, лінгвістичних, інформаційних та ін.

Складність розробок великих комплексів взаємозв'язаних програм полягає в тому, що ефективність вирішення кожної конкретної проблеми, визначається на завершальному етапі роботи, коли вся або більша частина системи починає функціонувати. Це зумовлює складність створення високоефективних програмних комплексів на етапі первинної розробки. Система стає дієвою тільки у процесі створення, випробування і удосконалення.

*Підсистема інформаційного пошуку* – це комплекс мовно-алгоритмічних засобів, призначених для зберігання і пошуку у певній множині елементів (документів, стандартів, норм, креслень виконаних конструкцій, патентів, характеристик матеріалів і т.п.) та представлення інформації, що відповідає на запит.

*Підсистема інженерних розрахунків* разом з підсистемою машинної графіки зазвичай застосовується на початковому етапі створення САПР і є сукупністю програмних засобів, призначених для виконання різних розрахунків (геометричних, міцнісних та ін.) у режимі діалогу «людина-машина». Робота розвиненої підсистеми інженерних розрахунків тісно пов'язана з використанням різного роду математичних моделей проєктованих об'єктів або процесів, для автоматизованого отримання яких призначена *підсистема моделювання*. Більшість сучасних САПР, крім обчислювальних, володіє широким спектром можливостей для введення, обробки, зберігання і виведення графічної інформації, що реалізуються програмними засобами підсистеми машинної графіки.

*Підсистема випробувань* є комплексом програмних засобів, призначених для створення програм управління випробувальним устаткуванням, обробки результатів випробувань, проведення чисельного експерименту з використанням математичних моделей об'єкту проєктування і процесу його навантаження. Чисельний експеримент дуже важливий в процесі проєктування, оскільки дозволяє визначити властивості проєктованого об'єкту без виготовлення дослідних зразків і дає змогу відразу відмовитися від безперспективних варіантів, що значно зменшує витрати часу і матеріальних засобів на створення об'єкту.

*Підсистема виготовлення* покликана підготувати програми для верстатів і автоматичних ліній з числовим програмним управлінням.

*Підсистема технологічної підготовки виробництва*, як правило, виходить за рамки САПР і є самостійною системою (АСТПВ - автоматизована система технологічної підготовки виробництва).

*Підсистема управління* призначена для об'єднання роботи інших підсистем на різних етапах процесу проєктування і виконує функції координатора у колективному процесі ухвалення рішень.

Не обов'язково в кожній САПР повинен бути представлений весь набір функціональних підсистем – вони можуть поєднуватися довільно залежно від завдань, що стоять перед системою.

Необхідно відзначити, що всі функціональні підсистеми тісно взаємозв'язані, тому часто неможливо провести між ними чіткі межі. Так підсистема машинної графіки може видавати результати у вигляді програми для устаткування з числовим програмним управлінням, що безпосередньо пов'язує її з підсистемами технологічної підготовки виробництва і виготовлення. Або замість створення креслень формувати розкрій листового матеріалу, що поєднує її з підсистемою виготовлення.

Деякі підсистеми залежно від ступеня їх розвитку або призначення можуть існувати як самостійні системи (наприклад, інформаційно-пошукові системи, графічні та ін.).

### **3.3. Принципи побудови САПР меліоративних об'єктів**

Характерною рисою сучасного етапу розвитку меліорацій як одного з найважливіших факторів інтенсифікації сільськогосподарського виробництва є масштабність їх впливу, що охоплює не тільки окремі об'єкти і господарства, але й цілі природні ландшафти та регіони. При цьому в сферу такої діяльності залучаються значні об'єми водних, земельних, енергетичних, трудових й інших матеріально-технічних ресурсів, що сприяє, з одного боку, не тільки корінному покращенню земель, але й суттєвим змінам властивостей природної (екологічної), соціальної, економічної та інших середовищ – з іншого.

Таким чином, проекти будівництва й реконструкції меліоративних об'єктів повинні передбачати безпосередній вплив меліоративної діяльності на всі аспекти від її реалізації. А тому кардинальне розв'язання такої проблеми неможливе без більш загального, порівняно з традиційним, підходу до обґрунтування направленості, складу та оцінки ефективності меліоративних об'єктів взагалі.

Розроблені теоретичні засади, а також методи і моделі оптимізації технічних і технологічних рішень з водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних принципах потребують відповідного методичного, програмного й, більш за все необхідного, інформаційного забезпечення їх реалізації за допомогою комп'ютера при розв'язанні проектних задач.

Іншими словами, обґрунтування проектних рішень на еколого-економічних засадах потребує удосконалення самого процесу проектування, методичного та інформаційного забезпечення, рівня фахової підготовки проектувальників.

Сучасною методологічною основою та, одночасно, універсальним технічним інструментом, який дає змогу удосконалювати практику проектування складних об'єктів і систем, що сьогодні успішно використовується і розвивається практично в усіх галузях науки, техніки і промисловості, є системи автоматизованого проектування. При цьому автоматизація проектування природним чином доповнює передуючу їй автоматизацію виробничих процесів та автоматизацію управління й організацію управління (АСУ), що сьогодні вже є реальністю.

Застосування САПР при проектуванні меліоративних систем потребує, в першу чергу, уточнення *базових проектних процедур*, що пов'язане з вибором найкращого проектного рішення на багатоваріантній основі. Типова логічна схема процесу проектування (тобто складу і черговості базових проектних процедур) на основі САПР подана на рис. 3.1.

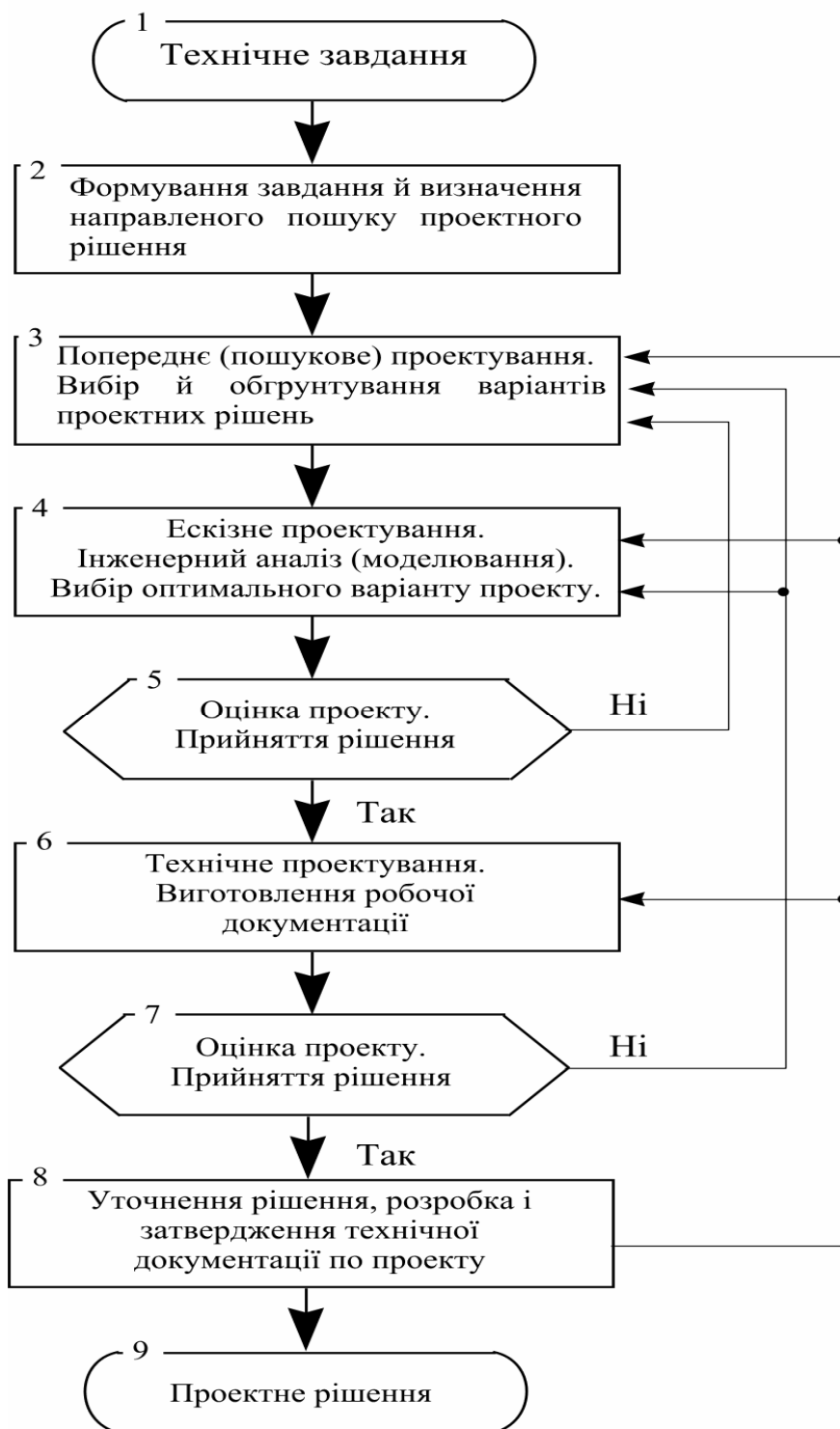


Рис. 3.1. Типова логічна схема процесу проектування на багатоваріантній основі за базовими проектними процедурами

Загальна технологія проектування складних об'єктів, процесів і систем на багатоваріантній основі передбачає, порівняно з існуючими в практиці проектування меліоративних систем на осушуваних землях, реалізацію наступних базових процедур, таких як попереднє (пошукове) проектування шляхом вибору й обґрунтування можливих варіантів проектних рішень в умовах реального об'єкта.

На етапі ескізного проектування здійснюється подальше уточнення і конкретизація загальних структурних схем об'єкту за вибраними до розгляду можливими варіантами. Для меліоративних систем на осушуваних землях це, в першу чергу, тип та конструкція системи як компоновка певного набору (кількісного та якісного) відповідних технічних елементів (регулюючих споруд, насосних станцій тощо). На цьому етапі вирішується завдання інженерного синтезу та аналізу: синтез охоплює формування принципів реалізації і конкретизацію проектних технічних та технологічних рішень, а аналіз включає дослідження (за допомогою математичної моделі чи прототипу) вибраних варіантів та їх оцінку за основними укрупненими техніко-економічними показниками і параметрами.

І, зрештою, одна з головних цілей проектування полягає в пошуку оптимального проектного рішення з вибраної сукупності можливих варіантів. Сутність оптимізації при цьому зводиться до пошуку найкращого (з можливих) проектного рішення, яке дає мінімум (максимум) деякої цільової функції, що характеризує загальну (комплексну) ефективність об'єкта, що проектується. Отже для реалізації оптимізації головною умовою є наявність альтернатив, тобто сукупності можливих варіантів проектних рішень щодо природно-агро-меліоративних умов реального об'єкта.

Проектування меліоративних систем на осушуваних землях за вибраними технологіями водорегулювання на них виконується залежно від природно-кліматичних, рельєфних, ґрунтових, гідрогеологічних, агротехнічних та інших умов об'єкта, які оцінюються за результатами інженерних вишукувань проектною організацією. У зв'язку з цим, при проектуванні меліоративних заходів, як правило, виникає значна кількість різних за технічними та технологічними рішеннями варіантів, які визначально впливають як, перш за все, на економічну, так і екологічну ефективність від їх реалізації.

Відповідно до діючих нормативів вибір проектних рішень елементів меліоративних систем на осушуваних землях, технологій водорегулювання тощо необхідно здійснювати залежно від конкретних умов реального об'єкта, що розглядається, шляхом порівняння можливих альтернативних варіантів. У загальному випадку найкращий варіант конструкції меліоративної системи, як правило, визначається через порівняння техніко-економічних показників відповідних проектних рішень між собою.

Варіанти технічних і технологічних рішень при проектуванні меліоративних систем на осушуваних землях можуть бути сформовані за такими основними напрямками:

- 1) конструктивні рішення за системою в цілому щодо її типу, конструкції та параметрів;
- 2) конструктивні рішення за елементами системи щодо регулюючої, провідної та огорожувальної мережі, гідротехнічних споруд, водозаборів, скидних споруд, насосних станцій тощо;
- 3) технологічні рішення щодо способів, режимів та схем водорегулювання.

Крім того, також можуть бути розглянуті варіанти за напрямками сільськогосподарського використання осушуваних земель щодо проектних видів, складу (структури посівних площ) та врожайності вирощуваних сільськогосподарських культур, способами первинного освоєння меліорованих угідь та проведення культуртехнічних робіт тощо.

Всі ці варіанти проектних рішень забезпечують відповідну кількість та якість отримуваної сільськогосподарської продукції, тобто економічний ефект від реалізації гідромеліоративних заходів, а також відповідний екологічний ефект. А тому адекватна порівняльна оцінка загального еколого-економічного ефекту дозволить вибрати спочатку найкращий варіант з можливих альтернативних рішень та визначити в подальшому абсолютну ефективність проекту в цілому. Отже реалізація такого підходу передбачає обов'язкове застосування розгляду та оцінки проектних рішень у три етапи:

- 1) обґрунтування, вибір й попередня оцінка можливих варіантів проектних рішень щодо природно-агро-меліоративних умов реального об'єкта на передпроектній стадії;
- 2) обґрунтування й вибір оптимального варіанту проектного рішення за порівняльною оцінкою альтернативних варіантів на стадії ескізного проектування;
- 3) остаточна оцінка вибраного проектного рішення за абсолютними техніко-економічними показниками на стадії розробки технічної документації по проекту.

### **3.4. Технічне та програмне забезпечення САПР**

Програмне забезпечення (ПЗ) САПР – сукупність машинних програм, призначених для автоматизованого одержання проектних рішень і представлених у заданій формі (у виді текстових документів або записаних на машинних носіях) а також документації по їхньому використанню.

*Програмне забезпечення САПР* – це сукупність програм представлених в заданій формі, разом з необхідною програмною документацією призначеною для використання у САПР.

Програмне забезпечення являє собою складні програмні комплекси з різними наборами функціональних можливостей. Серед них найважливішу роль відіграють операційні системи, які орієнтовані на конкретну конфігурацію комп'ютера. По суті операційні системи є продовженням технічних (апаратних) засобів і забезпечують взаємодію користувача з обчислювальною системою.

Розробка програмного забезпечення для різних сфер використання обчислювальної техніки є трудомістким і дорогим процесом, тому значну частину вартості апаратно-програмного комплексу для використання у САПР складає програмне забезпечення, яке представляє собою документи з текстами програм, програми на машинних носіях і експлуатаційні документи.

Програмне забезпечення САПР поділяється на загальне (загальносистемне) і прикладне (спеціальне).

*Загальне програмне забезпечення* використовується для будь-якого об'єкту проектування; його основу складають операційні системи, які використовуються у САПР і комп'ютерах.

*Спеціальне програмне забезпечення* повністю визначається класом об'єктів, що проектується з допомогою САПР, його основу складають програми, що реалізують алгоритми окремих проектних процедур.

*Операційна система* має модульну структуру, яка дозволяє пристосувати систему до конкретної конфігурації технічних засобів, оскільки окремі програмні компоненти можуть бути включені в операційну систему за бажанням користувача.

Операційні системи займають найважливіше місце в сукупності сучасних системних програмних засобів, які складають програмне забезпечення комп'ютера. Вони є основою організації обчислювального процесу системи і визначають ефективність використання апаратних компонентів для вирішення поставлених завдань. Від їх можливостей залежить ефективність праці персоналу, що використовує і обслуговує цю достатньо дорогу, техніку: інженерів, операторів, керівників і виконавців, які виконують за допомогою комп'ютера проекти, адміністрації обчислювальних центрів тощо.

До складу *спеціального програмного забезпечення САПР* включаються прикладні програми або пакети прикладних програм, орієнтовані на вирішення конкретних завдань та сервісні програми, що виконують в рамках САПР сервісні функції і забезпечують використання отриманих результатів.

Таким чином, спеціальне програмне забезпечення САПР направлено на вирішення певних проектних завдань. Саме воно є предметом розробки системи автоматизованого проектування. Від його характеристик і особливостей визначальним чином залежать функціональні можливості САПР.

Спеціальне програмне забезпечення не може функціонувати без загальносистемного програмного забезпечення, тому його можна розглядати як вузькоспеціалізоване продовження загальносистемного забезпечення комп'ютерів і САПР.

**Програма** – закінчена сукупність команд, необхідних для виконання визначеної задачі.

**Програмування** – процес складання програми.

Програмне забезпечення поділяють на три основні групи:

- базове;



- системне;
- прикладне.

Забезпечує погоджену роботу технічних засобів.

Це програми низького рівня **введення-виведення (BIOS)** і **драйвери**.

### **Системне програмне забезпечення.**

Основною функцією **операційної системи** є забезпечення процесу введення, виводу й обробки інформації, збереження даних і керування ними, розподілу ресурсів технічних засобів допоміжних операцій, діалоговий взаємозв'язок з користувачем у процесі проектування; рішення загальноматематичних задач; збереження, пошук, сортування, модифікація даних, необхідних при проектуванні, захист їхньої цілісності і захист від несанкціонованого доступу; контроль і діагностика роботи обчислювального комплексу.

**MS-DOS** програма початкового завантаження (Boot Record), що забезпечує завантаження власне операційної системи і передачу їй керування ресурсами комп'ютера; забезпечує виконання функцій введення/виводу (Input/Output), організовує інтерфейс користувача; даючи можливість користувачеві вводити команди у виді звичайних слів (англійською мовою), а не у виді команд, сприйманих пристроями комп'ютера.

**UNIX** призначена для роботи і на мережному сервері, і на робочих станціях. UNIX містить спеціальний модуль захисту даних, функцією якого є організація пріоритетів користувачів (прав використання і зміни даних) і підтримка різних рівнів доступу користувачів до даних.

Система **Windows** – продукт фірми Microsoft, що одержав дуже широке поширення. Windows перших версій (аж до 3.x) не була операційною системою – це було операційне середовище, що завантажувалася «над» операційною системою DOS і використовувала її файлову систему. Розширюючи MS-DOS, вона підтримує ряд нових можливостей, включаючи графічний інтерфейс із користувачем, багатозадачну обробку і динамічний обмін даними. Але основна ідея графічного інтерфейсу – використання піктограм, вікон і робота з мишею.

### **Прикладні програми**

До прикладних програм відносяться: текстові редактори; електронні словники і перекладачі; графічні редактори; мови програмування; електронні таблиці; бази даних; автоматизоване проектування; тривимірна графіка; географічні інформаційні системи.

**Мови програмування:** Асемблер, Паскаль, Бейсик, Сі, Сі++, Фортран, Ада, Кобол, Модула, Лисп, SQL, HTML, Java, Perl, Microsoft VBA (Basic), Borland Delphi, Borland C, Microsoft Visual C++, Autodesk AutoLISP.

### **Бази даних**

Системи керування базами даних служать для автоматизації збереження, сортування, пошуку й обробки даних. СУБД працюють з даними, представленими у виді записів. Кожен запис має унікальний ідентифікатор (ключ) і набір полів (атрибутивів) із заповненими значеннями. Дані

зберігаються у виді файлів на диску. СУБД допомагає швидко відсортувати дані, записані у файли і знайти необхідну інформацію з одному або декільком заданим ключам.

### ***Графічні редактори***

**AutoCAD** – цей комплект забезпечує оформлення креслень у стовідсотковій відповідності з ЕСКД і здійснює технічний нормоконтроль. Включає не тільки можливості оформлення і контролю, але і бібліотеки елементів за державними стандартами, засоби випуску специфікацій.

AutoCAD є відкритою програмою. Якщо прийдеться розробляти щось спеціальне під унікальну і неповторну задачу, головне, щоб фірми і компанії – розроблювачі ПО змогли самостійно написати замовлені вами додатки. Офіційна підтримка Microsoft Visual C++, Autodesk AutoLISP, Microsoft VBA, можлива підтримка Delphi, Borland C і інших.

**КОМПАС** – це комплекс автоматизованих систем конструкторсько-технологічного проектування, який розроблений акціонерним об'єднанням «Аскон» (м. С.-Петербург, Росія). Він призначений для широкого кола задач проектування, конструювання, підготовки виробництва в різноманітних областях машинобудування. Системи КОМПАС дають змогу розробляти креслення, управляючи програмами для станків з ЧПУ, виконувати трьохвимірне моделювання, вести архіви технічної документації, проектувати штампи і прес-форми, створювати власні прикладні програми для розв'язку спеціалізованих програм.

Вимоги до програмного забезпечення САПР:

- ***САПР повинна автоматизувати роботу.*** Інструменти САПР повинні заощаджувати ваш час, забезпечувати продуктивність і не суперечити традиційному проектуванню.
- ***САПР повинна бути надійною.*** Дані, що зберігаються в електронній формі, недоступні для прямого читання (для доступу до них як мінімум потрібні комп'ютер і спеціальна програма). Система має бути із стандартним форматом збереження інформації.
- ***САПР повинна бути доступною.*** Можливість навчання та технічна підтримка.
- ***САПР повинна бути відкритою.*** Можливість налаштувати систему або доробити під ваші потреби.
- ***САПР повинна мати пам'ять.*** САПР не повинна змінювати формати даних і не підтримувати свої старі формати або змінювати одне математичне ядро на інше – це ознака ненадійності системи.
- ***САПР повинна бути довговічною.*** Нормальний хід робіт і стабільна якість здатна гарантувати лише довговічна система (незалежно від кількості версій, що випускаються, і відновлень).
- ***САПР повинна бути універсальною.*** Система має бути сумісною з іншими програмами.

– **САПР повинна бути стабільною.** Система не повинна постійно змінювати основні принципи роботи.

– **САПР повинна окупати себе.** САПР повинна легко освоюватися, застосовуватися без додаткових витрат і приносить очікуваний результат.

Для виконання інженерних розрахунків при проектуванні водогосподарсько-меліоративних об'єктів можна використовувати як існуючі програми, так і спеціалізовані:

- пакет офісних програм Microsoft Office, Mathcad та ін.
- для розробки робочих креслень – графічні редактори AutoCad, AutoCAD Civil 3D, КОМПАС та ін.

Для виконання складних прогнозно-оптимізаційних розрахунків при проектуванні меліоративних систем на кафедрі водної інженерії та водних технологій Національного університету водного господарства та природокористування розроблено ряд програм, які використовуються як елементи САПР у навчальному процесі при проектуванні ГМС:

1. **Програма «BALANS»** – дає змогу на передпроектній стадії виконувати комплекс прогнозних режимних розрахунків з обґрунтування необхідності зволоження осушуваних земель за відповідними способами та вибору сукупності можливих варіантів технічних рішень щодо типів та конструкцій гідромеліоративних систем у відповідності до змінних природно-агро-меліоративних умов реального об'єкта, що розглядається.

2. **Програма «RASHOD»** – дає змогу визначити розрахункові витрати для практично необмеженої кількості розрахункових створів у межах об'єкта для обґрунтування типів, конструкцій і розмірів каналів провідної мережі та регулюючих гідротехнічних споруд, виконати оцінку зволожувальної здатності наявних водостоків.

3. **Програма «DRENAG»** – дає змогу визначити оптимальну конструкцію та параметри закритої регулюючої мережі осушувальної системи у змінних ґрунтових та гідрогеологічних умовах реального об'єкта з урахуванням видів, структури посівів та врожайності сільськогосподарських культур проектної сівозміни за реалізацією економіко-математичного методу.

4. **Програма «REGIM»** – призначена для моделювання та оцінки водного режиму осушуваних земель за довготерміновим прогнозом змінних природно-агро-меліоративних умов реального об'єкта.

5. **Програма «REGIM - ТЕО»** – дає змогу шляхом реалізації комплексу прогнозно-оптимізаційних розрахунків за відповідними моделями обґрунтувати економічно оптимальний варіант щодо способу водорегулювання осушуваних земель й, відповідно, тип, конструкцію та параметри ГМС за усім спектром змінних природно-агро-меліоративних умов об'єкта, що розглядається.

6. **Програма «ECONOMYK»** – призначена для оцінки економічної ефективності проектів меліоративних систем.

7. **Програма «INVEST»** – призначена для вибору оптимальних проектних рішень гідромеліоративних систем та їх інвестиційної оцінки на багатоваріантній основі.

8. **Тестова програма по загальному курсу «Сільськогосподарські гідротехнічні меліорації»** – призначена для оцінки рівня підготовки студентів освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр спеціальності «Гідромеліорація» напряму підготовки «Водні ресурси».

9. **Розрахунок гідравлічних параметрів МК** – призначений для обґрунтування типу, конструкції та параметрів магістральних каналів зрошувальних систем.

10. **Розрахунок водного балансу активного шару ґрунту** – призначений для водного режиму осушуваних земель за А.М. Янголем.

11. **Гідравлічний розрахунок осушувального каналу** – призначений для обґрунтування типу, конструкції та параметрів магістральних каналів та водоприймачів осушувальних систем.

12. **Програма GRM (гідравлічний розрахунок закритої мережі)** – призначена для виконання гідравлічних розрахунків трубопроводів закритої зрошувальної мережі при різних варіантах їх розміщення на плані.

13. **Програма «Водоспоживання в умовах зрошення»** – призначена для обробки основних метеоданих для більш ніж 30 метеостанцій України та розрахунку водоспоживання сільськогосподарських культур в зоні зрошувальних меліорацій.

14. **Програма PROFIL** – призначена для автоматизованої побудови та обрахунку об'ємів робіт відкритих та закритих елементів провідної мережі гідромеліоративних систем.

### 3.5. BIM-технології

Сучасний розвиток автоматизованого проектування спирається на принципово новий підхід в будівельному проектуванні, що полягає у створенні комп'ютерної моделі нової будівлі чи споруди, яка охоплює всі відомості про майбутній об'єкт – Building Information Model (BIM).

Інформаційне моделювання будівель від англ. Building Information Modeling (BIM) – це процес оптимізації проектування і будівництва. За допомогою BIM-технології створюється інформаційна модель, яка забезпечує точне бачення проекту в цілому.

Технологія інформаційного моделювання будівель чи споруд полягає в побудові тривимірної віртуальної моделі будівлі в цифровому вигляді, яка несе в собі повну інформацію про майбутній об'єкт. Застосування BIM-технології в проектуванні будинків включає в себе збір та комплексну обробку технологічної, архітектурно-конструкторської, економічної інформації про будівлю, завдяки чому будівельний об'єкт і все, що до нього відноситься, розглядаються як єдине ціле.

Застосування технології інформаційного моделювання істотно полегшує роботу з об'єктом проектування і має ряд переваг порівняно з класичними методами автоматизованого проектування. Насамперед, BIM дозволяє у віртуальному режимі розробити, пов'язати разом та узгодити створювані різними фахівцями та організаціями компоненти, системи майбутньої споруди, заздалегідь перевірити їх життєздатність, функціональність і експлуатаційні якості.

Застосування BIM-технології в проектуванні споруд дозволяє перевірити і оцінити різні рішення ще до початку будівельних робіт. BIM дає змогу створити модель, у якій можуть паралельно працювати архітектори, конструктори, інженери та інші фахівці, залучені до проекту. Учасники проекту – замовник, проектувальник, будівельник – отримують можливість більш повного, раціонального обміну інформацією, що дозволяє домогтися високої якості будівельних робіт, а також економить час і матеріальні витрати.

BIM моделювання в будівництві має величезні переваги:

- підвищення точності фінансових розрахунків;
- зниження кількості просторових колізій;
- зниження фінансових витрат на будівництво;
- точність прогнозів;
- зменшення кількості змін в проекті;
- швидке коригування інформаційної моделі;
- точне планування робіт будівельної техніки на майданчику;
- створення коректних графіків закупівлі матеріалів;
- покращення всіх ключових логістичних процесів будівництва та експлуатації.

Застосування BIM-технології проектування будівництва робить кожну дію прозорою і забезпечує повний контроль, причому в автоматизованому режимі, що гарантує високу якість проектно-будівельних робіт.

Перші програмні інструменти, розроблені для моделювання будівель, з'явилися в кінці 1970-х і початку 1980-х років і включали такі продукти для робочих станцій, як система опису будівель Чака Істмана та серії GLIDE, RUCAPS, Sonata, Reflex, Gable 4D. Ранні програми та обладнання, необхідні для їх запуску, були дорогими, що обмежувало їх широке поширення. Radar CN від ArchiCAD, випущений в 1984 році, був першим програмним забезпеченням для моделювання, доступним на персональному комп'ютері.

Найбільш широкого використання із сучасного програмного забезпечення для інформаційного моделювання будівництва та розрахунку конструкцій набули:

- ArchiCAD – BIM-рішення від компанії GRAPHISOFT;
- Tekla Structures – BIM-рішення для конструкторів від корпорації Tekla;
- Revit – BIM-рішення від компанії Autodesk;
- Allplan – BIM-рішення від компанії Nemetschek.

Проте дані BIM-рішення не повністю закривають комплексне проектування навіть в області цивільного будівництва, тому в аналіз включають інші САПР-рішення (AutoCAD Civil 3D, MagiCAD для AutoCAD і Revit, nanoCAD Електро / ОПС / СКС і т.д.). Таким чином, область застосування BIM стає більш комплексною.

Autodesk активно позиціонує свої рішення як «справжні BIM», оскільки вони не просто «закривають» кілька розділів, але й забезпечують єдиний формат між цими розділами (тобто інтелектуальну передачу даних).

Всього Autodesk в наш час випускає близько ста програмних продуктів. Розробкою займаються чотири основних підрозділи, очолювані старшими віце-президентами компанії: «Машинобудування та промисловість» (Роберт Крос), «Архітектура і будівництво» (Джей Бхатт), «Анімація і графіка» (Марк Петі), а також «Базові рішення і розвиток бізнесу» (Амар Ханспал).

Програми групи архітектурно-будівельної галузі використовуються переважно різними архітектурними та проектними майстернями, а також іншими компаніями будівельної сфери для проектування різних будівель і споруд, моделювання та аналізу їх конструкцій та підсистем і т.д. Серед цих рішень системи параметричного проектування на основі технології інформаційного моделювання будинків Autodesk Revit, програми для проектування підсистем будівель AutoCAD Architecture, програмне забезпечення для проектування об'єктів інфраструктури Autodesk Civil 3D, а також аналітичні комплекси для вирішення завдань екологічно раціонального проектування.

Програма Autodesk Civil 3D заснована на технології інформаційного моделювання будівель (BIM) і володіє вбудованими функціями для креслення, проектування і створення конструкторської документації. Civil 3D підтримує функції для роботи з різними інфраструктурними проектами, включаючи залізні дороги, автомагістралі і траси, землевпорядкування, аеропорти, системи дренажу, зливові і господарсько-побутові каналізація, а також інфраструктурні споруди.

Проектування водогосподарських і природоохоронних об'єктів, а також меліоративних систем на осушуваних та зрошуваних землях за вибраними технологіями водорегулювання виконується залежно від природно-кліматичних, рельєфних, ґрунтових, гідрогеологічних, агротехнічних та інших умов об'єкта, які оцінюються за результатами інженерних вишукувань проектною організацією. У зв'язку з цим, при проектуванні меліоративних заходів, як правило, виникає значна кількість різних за технічними та технологічними рішеннями варіантів, які визначально впливають як, перш за все, на економічну, так і екологічну ефективність їхньої реалізації.

У свою чергу, постановка та реалізація оптимізаційних підходів при проектуванні водорегулювання осушуваних земель спирається на необхідність створення комплексу прогнозно-імітаційних моделей для прогнозу на довготерміновій основі схематизованих погодно-кліматичних умов місцевості, водного режиму і технологій водорегулювання та

продуктивності меліорованих угідь. При цьому модель водного режиму і технологій водорегулювання у згаданому комплексі моделей є визначальною.

Тому, враховуючи складність проектування водогосподарсько-меліоративних об'єктів, для автоматизації та оптимізації проектування слід застосовувати ВІМ-технології, з числа яких, як чи не найкраще підходить для застосування потужний програмний комплекс Autodesk Civil 3D.

Таким чином, при проектуванні водогосподарсько-меліоративних об'єктів із застосуванням Autodesk Civil 3D можна виконувати роботи в області геодезії, топографії, генплану, геології, вертикального планування і впорядкування території, нового будівництва і реконструкції лінійно протяжних об'єктів (автомобільні і залізничні дороги, канали, дамби, напірні та безнапірні трубопроводи, дренажні системи), використовувати бази даних ГІС (геоінформаційні системи), виконувати аналіз поверхні землі за ухилами та висотними відмітками, моделювати складні водозбори та визначати напрями стоку, виконувати планування поверхні землі.

Таким чином, комплексне застосування оптимізаційних та прогнозно-імітаційних моделей, а також ВІМ-технологій в структурі сучасного автоматизованого проектування, дають змогу радикально підвищити якість та об'єктивність проектів у водогосподарсько-меліоративному та природоохоронному будівництві з дотриманням сучасних та екологічних вимог.

### ***Контрольні питання***

1. У чому суть проектних процедур аналізу і синтезу?
2. У чому полягає суть проектуючих і обслуговуючих підсистем?
3. Які основні напрямки технічних і технологічних рішень при проектуванні меліоративних систем на осушуваних землях?
4. Які базові процедури реалізуються при проектуванні меліоративних систем на осушуваних землях на багатоваріантній основі?
5. Що таке програмне забезпечення САПР?
6. Які функції та склад операційних систем?
7. У чому суть принципу розробки спеціального програмного забезпечення?
8. Яке призначення управляючих програм операційної системи?
9. Які переваги ВІМ-технологій в проектах будівництва?
10. Які особливості використання Autodesk Civil 3D при проектуванні водогосподарських об'єктів?

## Тема 4. Моделі та моделювання

Модель (лат. – міра, зразок) – це деякий об’єкт, який за певних умов замінює об’єкт, який є оригіналом, відтворюючи потрібні користувачеві властивості та характеристики оригінала, має за цих умов істотні переваги користування (наочність, оглядність, доступність випробувань та ін.).

Моделювання – це дослідження певних процесів, явищ чи систем (об’єктів) шляхом побудови та вивчення їх моделей; використання моделей для визначення чи уточнення характеристик та раціоналізації способів побудови знову створюваних об’єктів.

Моделювання – це одна з основних категорій пізнання. На ідеї моделювання базується будь-який метод наукового дослідження, як теоретичний (коли використовуються абстрактні моделі), так і експериментальний (що використовує предметні моделі).

Будь-яка діяльність людини має цільовий характер. Ціль – це образ бажаного майбутнього, тобто модель стану, на дослідження якого спрямована діяльність.

Системність діяльності виявляється у тому, що вона організується за певним планом, або алгоритмом. Алгоритм є моделлю діяльності, що планується. Тобто моделювання є неминучою процедурою у всякій доцільній діяльності, а модель є цільовим відтворенням оригінала.

Ціль моделювання визначає, які властивості оригінала і у якій мірі (з якою точністю) повинні бути відображені у моделі.

### 4.1. Класифікація моделей

Залежно від властивостей об’єкта моделі поділяються на структурні й функціональні.

У проектних процедурах найбільш широко використовуються математичні моделі, що відображають тільки структурні властивості об’єкта, наприклад його геометричну форму, розміри, взаємне розташування елементів у просторі. Такі моделі називають *структурними*.

Розрізняють топологічні і геометричні структурні математичні моделі. У топологічних моделях відображаються склад і взаємодія елементів об’єкта. Їх часто використовують для опису об’єктів, що мають велику кількість елементів, при розв’язуванні задач прив’язки елементів до певних просторових позицій (наприклад, задача компоновання) або до часових показників (наприклад, при розробці технологічного процесу). Топологічні моделі часто мають форму графів, таблиць, списків і т.п. У геометричних моделях крім відомостей про взаємне розташування елементів об’єкта містяться відомості про їх форму.

Такі моделі можуть виражатися сукупністю лінійних і поверхневих рівнянь, алгебраїчних співвідношень, які описують частину або весь об’єкт.



При описі конструкції, які мають типові елементи, використовуються графи й списки.

У проектних процедурах, пов'язаних з функціональним аспектом проектування використовуються математичні моделі, які відображають закономірності процесів функціонування об'єктів. Такі моделі називають *функціональними*. Типова функціональна модель являє собою систему рівнянь, що описують механічні, гідравлічні, пневматичні, електричні та теплові процеси. Оскільки характер функціонування об'єкта в більшості випадків неможливо описати без врахування його структури, у функціональних математичних моделях також відображаються його структурні властивості. Функціональні моделі у порівнянні зі структурними більш складні і вважаються основними у САПР.

Існує класифікація математичних моделей за ступенем деталізації описуваних властивостей і процесів, що протікають в об'єкті. Розглянемо її на прикладі функціональних математичних моделей.

Блочно-ієрархічний підхід до проектування технічних об'єктів в якості основи використовує ієрархію математичних моделей. При цьому, на кожному ієрархічному рівні використовуються відповідні математичні моделі, складність яких співмірна з можливостями аналізу. Поділ моделей за ієрархічними рівнями відбувається за ступенем деталізації описуваних властивостей і процесів, що протікають в об'єкті. При цьому на кожному ієрархічному рівні використовують відповідні поняття «система» і «елементи». Так, система  $k$ -го рівня розглядається як елемент на сусідньому більш високому  $(k-1)$ -м рівні абстрагування.

Структуру об'єкта на будь-якому ієрархічному рівні можна представити у вигляді сукупності елементів і зв'язків між ними. Властивості кожного елемента описуються математичною *моделлю елемента*. Вона являє собою співвідношення, які пов'язують зовнішні фазові змінні. Деякі підмножини елементів з їхніми зв'язками можна за певними загальними ознаками об'єднати в групи або *блоки*. Математична модель, отримана безпосереднім об'єднанням моделей елементів блоку в загальну систему рівнянь, називається *повною моделлю блоку*. Її характерною особливістю є присутність у ній вектора внутрішніх фазових змінних, тобто вона описує стан кожного елемента блоку.

При великій кількості елементів порядок системи рівнянь стає дуже великим, що вимагає спрощення. При переході до більш високих ієрархічних рівнів з моделі видаляються вектори внутрішніх змінних. Така модель називатиметься *макромоделлю*. Вона вже не описує процеси всередині блоку, а характеризує тільки процеси взаємодії даного блоку з іншими у складі системи. Поняття макромоделей має вирішальне значення в блочно-ієрархічному підході до проектування. Заміна повних моделей блоків їх макромоделями дозволяє перейти на більш високий ієрархічний рівень, де блок нижчого рівня виступає в якості елемента нового, укрупненого блоку (або системи повністю). Багаторівневі моделі іноді використовують у

випадку, коли одні блоки системи описуються повними моделями, а інші - макромоделями.

Залежно від складності об'єкта при його проектуванні використовують більшу або меншу кількість рівнів абстракції. Кількість використовуваних ієрархічних рівнів при проектуванні конкретних об'єктів залежить від окремого підприємства, прийнятої організації САПР, можливостей використання математичного й програмного забезпечення. Збільшення кількості рівнів дає змогу використовувати простіші математичні моделі на кожному з них, однак це ускладнює узгодження результатів, отриманих на різних рівнях.

В ієрархії функціональних моделей для більшості складних об'єктів об'єднання рівнів, подібних за характером використовуваного математичного апарата, призводить до утворення трьох укрупнених рівнів: мікро-, макро- і метарівень.

На мікрорівні використовують математичні моделі, що описують фізичний стан і процеси в суцільних середовищах. Фазові змінні в цьому випадку є функціями декількох незалежних змінних таких, як просторові координати і час, при цьому і простір, і час безперервний.

Прикладами таких моделей служать диференціальні рівняння в частинних похідних – рівняння пружності, динаміки рівня ґрунтових вод у багатошарових ґрунтах, електродинаміки, теплопровідності, гідродинаміки, газодинаміки, які описують напружено-деформований стан деталей конструкцій, зміну рівня у ґрунтовій товщі, поля електричного потенціалу, температури, тощо.

До типових фазових змінних на мікрорівні відносяться механічні напруження і деформації, тиску, температури, вологості, електричні потенціали, концентрації частинок, щільності струмів та ін. Враховуючи характер впливів фазових змінних, розподілених у просторі, ці моделі називають *розподіленими*. Вони використовуються для визначення розподілу напружень у деталях окремих конструкцій, розподілу температур та вологості по поверхні і всередині ґрунтового шару.

Аналіз розподілених моделей зводиться до вирішення крайових задач математичної фізики, що створює значні труднощі обчислювального характеру. Тому їх використання обмежується випадками об'єктів з невеликою кількістю ділянок. Ускладнення задачі шляхом збільшення просторових і тимчасових областей призводить до необхідності переходу до наступного ієрархічного рівня – макrorівня.

На макrorівні проводиться дискретизація простору з виділенням у якості елементів окремих деталей. Така дискретизація означає перехід від розподілених моделей до *зосереджених*, при цьому із числа незалежних змінних виключають просторові координати. Елементами цього рівня є об'єкти, які на мікрорівні розглядалися як системи. Параметри цих елементів, будучи на мікрорівні вихідними тут стають внутрішніми.

Математичні моделі на макрорівні являють собою системи звичайних диференціальних рівнянь, які в окремих випадках перетворюються в системи алгебраїчних або трансцендентних рівнянь. Для їх отримання і вирішення використовують відповідні чисельні методи. У якості фазових змінних фігурують сили, швидкості, температури, витрати, електричні напруги, струми і т.д. Вони характеризують прояви зовнішніх властивостей елементів при їхній взаємодії між собою і зовнішнім середовищем.

На метарівні за допомогою подальшого абстрагування від характеру фізичних процесів отримують прийнятні за складністю описи процесів, що протікають у проєктованих об'єктах. Математичні моделі на метарівні – це системи звичайних диференціальних рівнянь, системи алгебраїчних рівнянь, системи логічних рівнянь, імітаційні моделі систем масового обслуговування. Тут роль елементів і внутрішніх параметрів виконують системи та вихідні параметри попереднього ієрархічного рівня.

В залежності від форми представлення математичні моделі розрізняють.

*Інваріантна форма* – запис співвідношень моделі за допомогою традиційної математичної мови без прив'язування до методу розв'язку рівнянь моделі.

*Алгоритмічна форма* – запис співвідношень моделі і обраного чисельного методу вирішення у формі алгоритму. При цьому, обчислення значень шуканих величин проводиться шляхом розв'язку систем рівнянь.

*Аналітична форма* – запис моделі у вигляді результату аналітичного рішення вихідних рівнянь моделі. При цьому моделі у аналітичній формі зазвичай являють собою явні представлення вихідних параметрів як функцій внутрішніх і зовнішніх параметрів. З погляду зручності реалізації за допомогою комп'ютера вони суттєво відрізняються від інших, однак їх складно і не завжди можна отримати прийнятним шляхом.

*Схемна форма (графічна)* – представлення моделі на певній графічній мові, наприклад мовою графів, еквівалентних схем, діаграм і т.п. Графічні форми зручні для сприйняття людиною. Використання таких форм можливо при наявності правил однозначного тлумачення елементів креслень і їх перекладу на мову інваріантних або алгоритмічних форм.

## 4.2. Види моделей

### 4.2.1. Ідеальні (абстрактні) моделі

Ідеальними називають моделі, побудовані засобами мислення, свідомості. До цих моделей відносяться усі мовні конструкції, що сприяють встановленню відносин між людьми.

Існує декілька рівнів мовних конструкцій, що відрізняються між собою рівнем абстракції, структурованості та точності передачі інформації.

Природна мова є універсальним засобом побудови абстрактних конструкцій (моделей). Ця універсальність забезпечується можливістю введення до мови нових слів і можливістю ієрархічної побудови все більше

розвинених мовних моделей (слово – речення – текст; поняття – відношення – визначення – конструкції).

Окрім цього, універсальність мови досягається тим, що мовні конструкції характеризуються неоднозначністю, розпливчастістю, розмитістю. Тому з'являється «професійна мова», що реалізується в обмежених людських колективах: мова медиків, фізиків, льотчиків та ін. Найбільш високо спеціалізованою є мова математики, що має визначеність, яка є максимально досяжною за нинішніх умов, і точність.

Ідеальні моделі можна розділити на знакові (семантичні) та інтуїтивні. За способом подання семантичних моделей розрізняють: математичні, логічні, графічні моделі. Математичні моделі відіграють певну роль серед інших форм знакових моделей, проте їх важко чітко відокремити від логічних та графічних, внаслідок їх тісного переплетення. Тому часто говорять про логіко-математичні моделі.

За обчислювальним характером різних показників, відношень та ін. логіко-математичні моделі поділяються на аналітичні, алгоритмічні та імітаційні.

Аналітичні моделі передбачають реалізацію моделі у вигляді алгебраїчних, диференціальних та інших рівнянь, що пов'язують вихідні змінні з вхідними, доповненими системою обмежень. При цьому передбачається наявність однозначної обчислювальної процедури отримання точного розв'язку рівнянь.

При алгоритмічному підході математична модель, що використовується, не припускає точного розв'язку і змушує звертатися до різних наближених, рекурентних методів, ітеративних процедур пошуку наближеного розв'язку. Це типовий підхід до створення моделей складних систем.

Основним типом математичних моделей складних систем є імітаційні моделі. Імітаційна модель являє собою певну обчислювальну процедуру, що описує об'єкт аналізу, його ознаки та дії (процеси), що викликають зміну ознак об'єктів, або появу та зникнення самих об'єктів. Імітаційна модель дає змогу з будь-якою заданою точністю параметрично відтворити систему довільної складності. Основними обмеженнями при створенні цих моделей є ресурси пам'яті і часу. Головним засобом реалізації імітаційних моделей є комп'ютер.

Графічні моделі передбачають використання графічної форми подання інформації про логіко-математичні залежності між показниками системи. Сучасні комп'ютерні технології дають змогу наглядно подати багатовимірні форми зв'язку (функціональні, стохастичні, логічні), використовуючи тривимірний простір та колірну палітру.

Інтуїтивні моделі будуються на вербальному (описовому) рівні. Ці моделі не встановлюють суворі кількісні співвідношення між явищами, що моделюються, обмежуючись лише аналізом якісних узагальнених понять, що відтворюють лише загальні тенденції розвитку явищ, напрямки змін властивостей об'єктів, що вивчаються, та ін.

Такий підхід здійснюється з метою висунення різних гіпотез поведінки об'єктів складних систем, формування евристик відносно взаємовідносин між активними елементами системи та їх розвитку.

За способом формування евристик розрізняють такі типи інтуїтивних моделей: сценарій; операційна гра; розумовий експеримент.

Інтуїтивне моделювання є основним методом моделювання мета-системи.

#### 4.2.2. Матеріальні моделі

Ресурси для створення матеріальних моделей отримують із середовища, що нас оточує. Щоб матеріальна модель могла замінити оригінал у процесі цілеспрямованої діяльності, необхідно встановити відношення подібності між моделлю та оригіналом. Розрізняють три типи подібності: пряма (фізична); непряма; умовна.

Прикладами прямої (фізичної) подібності є голографічний знімок об'єкта; скульптурний портрет людини; модель літака; копія витвору мистецтва (картини, шкатулки, скульптури, та ін.).

Міра прямої подібності може бути різною, але тільки за умови прямої подібності можлива взаємна заміна моделі та оригіналу, що є такою, яка важко виявляється.

Непряма подібність встановлюється шляхом виявлення активно існуючих у природі аналогій між процесом, що розглядається, та іншим процесом.

Третій тип подібності – умовна; вона встановлюється в результаті угод. Прикладами умовної подібності є: паспорт (офіційна модель власника); гроші (модель вартості); креслення (модель виробу); сигнали (моделі повідомлень); результати психологічного тесту (модель людини), та ін.

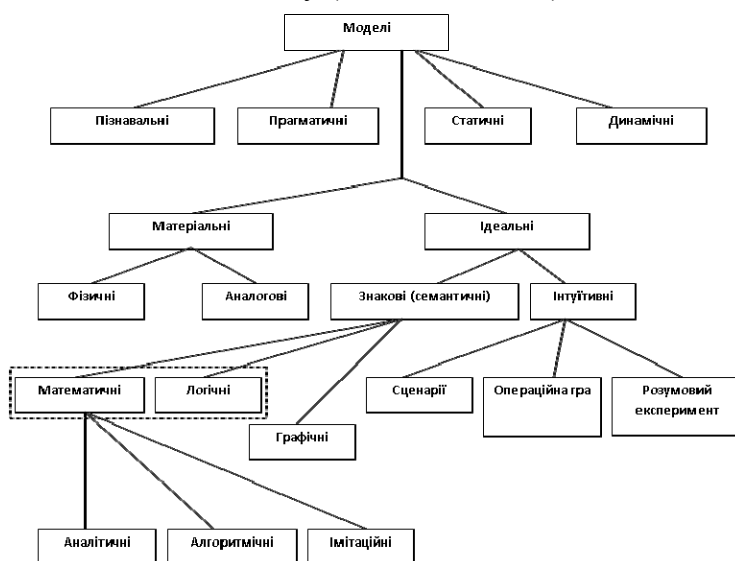


Рис. 4.1. Класифікація моделей

#### 4.2.3. Моделі складних систем

Уся багатоманітність природних та штучних систем, що оточують людину, може бути описаною обмеженим числом принципово різних типів моделей. Такі моделі у системному аналізі називають формальними моделями. Вони мають достатньо високий рівень абстракції і використовуються як «шаблон», за допомогою якого дослідник приступає до побудови змістовної моделі системи. Змістовною називають формальну модель, що наповнена змістовною сутністю із заданої предметної галузі, тобто вербально (словесно) «пов'язану» з об'єктом моделювання.

Рівень абстракції формальних моделей може бути різним. Чим вищим є цей рівень, тим більш широкий клас систем може описуватися цими моделями. До формальних моделей високого рівня абстрагування відносяться чотири типи моделей: «чорний ящик», «склад системи», «структура системи», «структурна схема системи» (модель типу «білий ящик»).

#### 4.2.4. Модель типу «структура схеми»

Реальне число зв'язків між будь-якими системами чи їх елементами є дуже великим, може вважатися нескінченним. Однак, при побудові пізнавальних і прагматичних моделей систем для досягнення потрібної мети використовуються ті зв'язки, вплив яких або можна оцінити, або наявність яких забезпечує потрібний рівень адекватності моделей. Тому розглядати модель «структура системи» безвідносно до сукупності елементів системи (модель «склад системи») неправомірно. Тому ця модель будується після або разом з моделлю «склад системи». Самостійну роль може відігравати етап вивчення різних структур, їх переваг і недоліків у контексті з елементарним складом системи.

Одна і та ж система може бути поданою різними структурами в залежності від стадії пізнання об'єкта чи процесу їх розгляду, цілей створення. У процесі дослідження чи проектування структура системи може змінюватися. Структурні моделі системи можуть бути засобом їх дослідження.

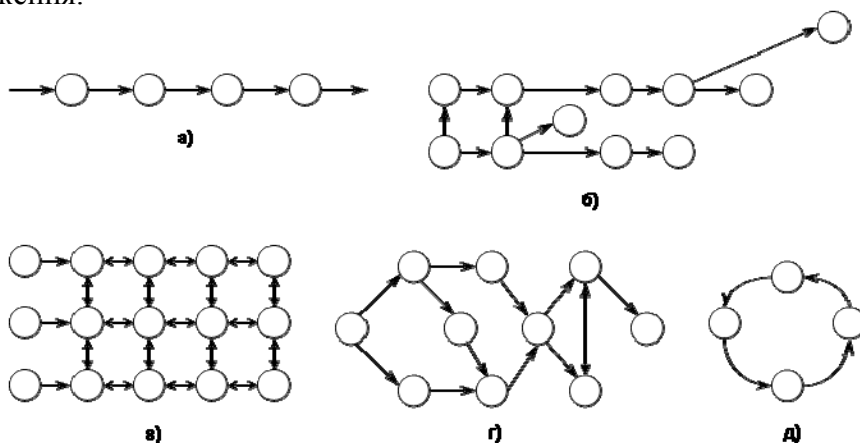


Рис. 4.2. Різноманітні типи структур:

а) лінійна; б) дерево видна; в) матрична; г) мережна; д) кільцева

#### 4.2.5. Модель типу «структурна схема системи»

Завершальною і найбільш повною моделлю системи є модель, що називається «структурною схемою системи», яка представляє собою сукупність (з'єднання) трьох розглянутих раніше моделей: чорного ящика; складу та структури. У цій моделі описуються: всі елементи системи (склад); всі зв'язки системи: внутрішні (структура), зовнішні (входи, виходи); границі системи; параметри зовнішнього середовища; параметри внутрішнього середовища.

Основною проблемою побудови моделей складних систем є знаходження компромісу між простотою опису об'єкта та ступенем його деталізації. Один з шляхів розв'язку цієї проблеми – задавання системи сімейством моделей, кожна з яких описує поведінку системи з точки зору відповідного рівня абстрагування. Для кожного рівня існують характерні особливості, закони та принципи, за допомогою яких описується поведінка системи на цьому рівні. Таке уявлення називають стратифікованим, а рівні страгірування – стратами.

#### 4.2.6. Динамічні моделі систем

У розглянутих вище моделях час  $t$  як характеристика не розглядався. Такі моделі називаються статичними. Більш повно систему будуть описувати ті моделі, які дають уявлення про зміну характеристик системи у часі. Такі моделі називають динамічними.

Поняття «динаміка системи» інтерпретується неоднозначно. Розрізняють три типи динаміки системи: функціонування, ріст, розвиток. Під функціонуванням розуміють процеси, які відбуваються в системі для того, щоб система реалізовувала свою ціль. Під ростом системи розуміють таке її функціонування, коли відбуваються якісні зміни деяких характеристик системи, що реалізують ті ж функції для досягнення тієї ж цілі (або цілей).

Під розвитком розуміють такі зміни в системі, коли відбуваються якісні зміни в ній. Це, як правило, пов'язано із змінами цілей системи. Досягнення нових цілей потребує від системи нових функцій, що потребує в свою чергу від підсистем, агрегатів та елементів системи нових властивостей. Ріст та розвиток системи необов'язково є супутніми один одному. Будь-яка складна система зазвичай рідко знаходиться в якійсь одній динамічній фазі, частіше мають місце всі три фази динаміки системи, тобто система функціонує, росте та розвивається одночасно, тому побудова динамічних моделей системи завжди є складною.

У самому загальному вигляді динамічну модель можна описати так: вводять поняття «стан системи» як деякої «внутрішньої» характеристики системи. Зазвичай стан системи характеризується набором величин  $z_1(t), \dots, z_n(t)$ , які утворюють вектор  $\vec{z}(t)$ , який є функцією часу. Вектор входу системи  $\vec{x}(t) = (x_1(t), \dots, x_n(t))$  та вектор виходу системи  $\vec{y}(t) = (y_1(t), \dots, y_n(t))$  також є функціями часу. У простому випадку вектори входу  $\vec{x}(t)$ , виходу

$\vec{y}(t)$  та стану  $\vec{z}(t)$  пов'язані між собою співвідношенням  $\vec{y}(t) = f(\vec{x}(t), \vec{z}(t))$ , де  $f$  – деяка функція. Тобто динамічна модель системи – це сукупність співвідношень, що визначають вихід системи в залежності від входу та стану системи.

### 4.3. Вимоги до моделей

Основними вимогами, які пред'являються до моделей, є вимоги адекватності, універсальності й економічності.

*Адекватність.* Модель вважається адекватною, якщо вона відображає задані властивості об'єкта із прийнятною точністю. При цьому, точність визначається як ступінь співпадання передбачених за допомогою моделі значень вихідних параметрів об'єкта з дійсними значеннями цих параметрів.

*Універсальність.* Ступінь універсальності моделі характеризує повноту відображення у них властивостей реального об'єкта. Вона визначається можливістю використання моделі для аналізу груп однотипних об'єктів, а також кількістю доступних для цього режимів функціонування.

*Економічність.* Економічність моделей характеризується затратами обчислювальних ресурсів для їх реалізації, а саме витратами машинного часу і пам'яті. Загальні затрати на виконання у САПР будь-яких проектних процедур залежать від особливостей вибраних моделей та методів їх вирішення.

### Контрольні питання

1. В чому полягає ціль моделювання?
2. Які моделі називають ідеальними?
3. В чому полягає цінність моделювання?
4. Які зв'язки використовуються при побудові пізнавальних і прагматичних моделей?
5. Що собою представляє модель типу «структурна схема системи»?
6. Які типи понять «динаміка системи» використовуються при побудові динамічних моделей систем?
7. Які вимоги пред'являються до математичних моделей?



## Тема 5. Підходи методи та моделі при проектуванні інженерних об'єктів

### 5.1. Підходи і методи при автоматизації проектування водогосподарсько-меліоративних об'єктів

На практиці, особливо при проектуванні об'єктів машинобудування, рідко зустрічаються випадки, коли існує можливість повного опису об'єкту в рамках однієї програми, це обумовлено великою складністю задач проектування.

Описи технічних об'єктів за складністю повинні бути узгоджені з можливостями сприйняття людиною і оперуванням описами в процесі їх перетворення за допомогою наявних засобів проектування. Проте виконати цю вимогу в рамках деякого єдиного опису, не розбиваючи його на складові частини, вдається лише для простих виробів. Як правило, потрібна структуризація описів з відповідним роздільним представленням проєктованих об'єктів використовуючи ієрархічні рівні, це дає змогу розподіляти роботи по проектуванню складних об'єктів між підрозділами проектної організації, що сприяє підвищенню ефективності і продуктивності праці проєктувальників.

**Блочно-ієрархічний підхід.** Розділення описів по ступеню деталізації відображених у ньому властивостей і характеристик об'єкту лежить в основі *блочно-ієрархічного підходу* до проектування, що призводить до використання *ієрархічних рівнів (рівнів абстрагування)* в уявленнях про об'єкт.

На кожному ієрархічному рівні використовуються свої поняття систем і елементів. На верхньому рівні проєктований складний об'єкт розглядається як система взаємозв'язаних і взаємодіючих елементів. Кожний з цих елементів є також складним об'єктом який, у свою чергу, розглядається як система на наступному нижчому рівні. Виділення елементів відбувається за функціональною ознакою. Подібне розділення продовжується аж до отримання на деякому рівні елементів, описи яких подальшому поділенню не підлягають, ці елементи по відношенню до об'єкту називають *базовими*.

Таким чином, *принцип ієрархічності* означає структуризацію уявлень про об'єкти проектування за ступенем детальності опису, а *принцип декомпозиції (блоковості)* – розбиття представлень кожного рівня на ряд складових частин (блоків) з можливостями роздільного (поблочного) проектування об'єктів на кожному з рівнів.

Конструкції меліоративних систем, машин, та пристроїв як об'єктів проектування є складною структурою. Внаслідок цього, математичний опис конструктивних елементів повинен базуватися на блочно-ієрархічному підході до процесу конструювання.

Для багатьох галузей народного господарства і меліоративних об'єктів

зокрема, характерні наступні ієрархічні рівні (рис. 5.1), система-канали-колектори-дрени. Рівень IV (нижчий рівень) складається з деталей дренажних систем, рівень III — сукупності дрен під'єднаних до колектора, рівень II — сукупності колекторів під'єднаних до відкритих каналів, рівень I — об'єднання каналів у єдину осушувальну систему. Для точнішого представлення ієрархії системи можуть бути передбачені додаткові підрівні, наприклад колектори можуть бути розбиті на зволожувальні і осушувальні і т.д. Відповідно ієрархії об'єктів проектування можна побудувати ієрархію їх математичних моделей.

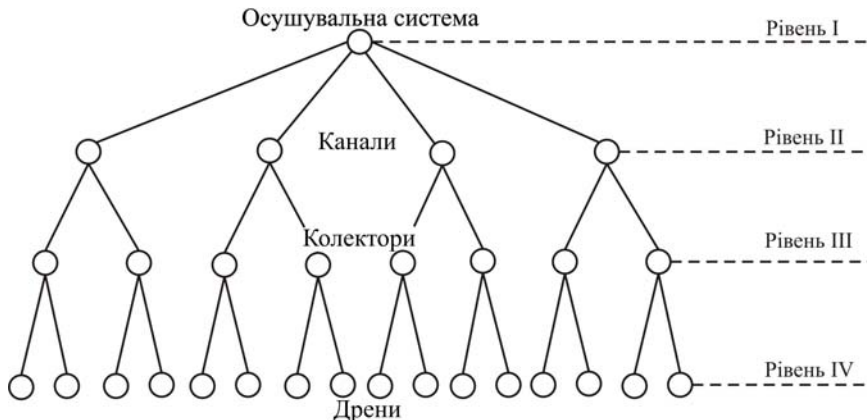


Рис. 5.1. Приклад ієрархічного представлення осушувальної системи

Отже, блочно-ієрархічний підхід до проектування — заснований на розділенні описів проєктованих об'єктів на ієрархічні рівні за ступенем детальності віддзеркалення властивостей об'єктів, а також на відповідному розділенні процесу проєктування на групи проєктних процедур, пов'язаних з отриманням і перетворенням описів виділених ієрархічних рівнів.

Ієрархічна структура описів має місце в кожному з аспектів описів складних систем. Наприклад, описи функціонального аспекту діляться на *мета-, макро- і мікрорівні*. У описах конструкцій виділяють рівні комплектів устаткування, агрегатів, складальних одиниць, деталей; у описах технологічних процесів — рівні принципів схем, маршрутної і операційної технологій. При переході з вищого ієрархічного рівня на нижчий ступінь детальності опису об'єкту зростає. Для збереження прийнятної складності описів (прийнятної розмірності вирішуваних задач) при такому переході необхідно проводити *декомпозицію* описів на блоки з подальшим поблочним розглядом і перетвореннями. В результаті з'являється можливість звести вирішення невеликої кількості надмірно складних завдань до вирішення великої кількості завдань прийнятної складності.

Якщо вирішення задач вищих ієрархічних рівнів передуює рішенням задач нижчих ієрархічних рівнів, проектування називають *низхідним*, але коли

спочатку здійснюються етапи, що пов'язані з нижчими ієрархічними рівнями, то проектування називають *висхідним*. У кожного з цих двох видів проектування є переваги і недоліки.

**Низхідне проектування.** При такому проектуванні спочатку створюються описи вищих ієрархічних рівнів, а потім нижчих (проектування зверху вниз).

Наприклад, послідовність проектування може бути такою: генеральний план меліоративного об'єкта – робочі креслення її окремих частин - розрахунки окремих елементів осушувальної системи (повздовжні та поперечні перерізи каналів, колекторів і дрен). *Функціональне проектування* складних систем найчастіше буває низхідним аж до рівня, на якому елементи є уніфікованими об'єктами. При цьому, система розробляється в умовах, коли її елементи ще не визначені, а відомості про їх можливості і властивості носять попередній характер.

**Висхідне проектування.** Проектування, при якому виконання процедур по отриманню описів нижчих ієрархічних рівнів передують виконанню процедур по отриманню описів вищих ієрархічних рівнів *називається висхідним* (проектування від низу до верху). Наприклад, об'єкти можуть проектуватися в такій послідовності: дрени - колектори - канали. При висхідному проектуванні елементи проектуються раніше системи, тому попередній характер мають властивості і вимоги до елементів.

Оскільки прийняті на початку припущення можуть не підтвердитись, часто потрібне повторне виконання проектних процедур попередніх етапів після виконання проектних процедур подальших етапів. Такі повторення забезпечують послідовне наближення до оптимальних результатів і обумовлюють ітераційний характер проектування. Отже, ітераційність відносять до важливих принципів проектування складних об'єктів.

На практиці зазвичай поєднують висхідне і низхідне проектування. Наприклад, висхідне проектування має місце на всіх ієрархічних рівнях, на яких використовуються уніфіковані елементи. Очевидно, що такі елементи орієнтовані на застосування в різних системах певного класу, що розробляються раніше ніж будь-яка конкретна система з цього класу. При розробці нових конструкцій зазвичай використовується евристичний прийом синтезу.

**Евристичний прийом синтезу.** Неформалізований прийом, який використовується при синтезі технічних об'єктів, що дає змогу визначити у якому напрямі шукати потрібне технічне рішення називається *евристичним*.

Евристичні прийоми зберігаються у спеціальних фондах баз даних, для подальшого використання інженерами в інтерактивних процедурах синтезу. Евристичні прийоми діляться на групи перетворень виду руху, матеріалу, геометричної форми в просторі, в часі, додаванням, виключенням, заміною, аналогічно і т.п. Прикладами евристичних прийомів можуть служити такі: «змінити напрям руху», «перейти від однорідних матеріалів до композиційних», «вивернути форму деталі навиворіт», «поміняти місцями

протилежно розміщені елементи», «перетворити асинхронний процес на синхронний», «витрачені елементи відновити безпосередньо в процесі роботи», «виключити найбільш напружений елемент», «звернути увагу на спосіб рішення оберненої задачі» та ін.

## 5.2. Модель меліоративної системи та меліорованого поля

**5.2.1. Загальні положення й передумови до розробки моделі.** Кожна ланка такої системи, як і відповідні підсистеми, взаємозв'язані з іншими за структурною схемою, що подана на рис. 5.2. Вони також, як системи більш високого рівня, представляють собою відносно самостійні підсистеми нижчого підпорядкування з притаманними тільки для них особливостями функціонування й відповідними характеристиками.

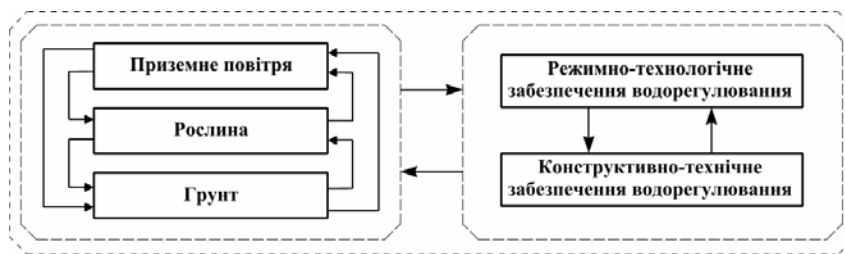


Рис. 5.2. Структурна схема меліорованого поля як елемента (підсистеми) складної природно-агро-меліоративної системи

При цьому рослина (спільнота рослин) виступає як центральна ланка *природно-агротехнічної підсистеми* в структурі меліорованого поля, розвиток і кінцевий врожай якої представляють очевидний інтерес, насамперед з економічної точки зору. Особливостями такої підсистеми є складність взаємодій і взаємовідносин як між складовими її елементами (наприклад, між рослиною і оточуючим її середовищем), так і всередині самих цих елементів, як відповідних складних підсистем (наприклад, між окремими рослинами та між органами однієї і тієї ж рослини тощо). Крім того, в такій системі має місце наявність численних зворотних зв'язків, різних констант часу цих зв'язків і т.д.

Що стосується *технічно-меліоративної підсистеми*, то вона, з одного боку, є абсолютно керованою і впливає як техногенний фактор на умови формування загального еколого-економічного ефекту в межах меліорованого поля. Але, з іншого боку, результат взаємодії цих підсистем, через переважаючий стохастичний характер функціонування природно-агротехнічної підсистеми, вміщує елемент невизначеності (або непередбачуваності), зумовлений вище розглянутими причинами.

Реакції водного режиму осушуваних земель й, відповідно, посіву культур на вплив оточуючого середовища разом з техногенним фактором відрізняються затримками в часі, кумулятивними ефектами, стохастичним

характером залежностей тощо. Тому таку систему слід розглядати як дифузну, модель якої може бути створена лише в рамках деяких узагальнених спрощених уявлень про процеси, що відбуваються на меліорованому полі.

Системний підхід дає ту необхідну загальну методологічну основу, яка принаймні потенційно може забезпечити комплексне розв'язування проблеми описування цілісної поведінки дифузних або складних динамічних систем, до яких відноситься система *грунт-рослина-приземне повітря*, у вигляді якої схематично представлене меліороване поле на осушуваних землях.

Головними теоретичними передумовами, що взяті нами за основу при розробці загальної моделі меліорованого поля на осушуваних землях, були загальні принципи і підходи до вирішення аналогічного питання в зоні зрошувальних меліорацій, а також наявні методи описування умов функціонування окремих складових ланок системи *грунт-рослина-приземне повітря* на меліорованих землях як в зоні зрошення, так і осушення.

Відмітимо, що вперше необхідність побудови і найбільш коректна постановка задачі створення загальної моделі зрошуваного поля в задачах оптимізації умов вологозабезпеченості були виконані В.А.Платоновим. Він висунув тезу про те, що кількісна оцінка поведінки системи *грунт-рослина-приземне повітря* можлива лише за наявності динамічної моделі, яка має такий загальний неявний вигляд

$$\vec{x}(\tau) = \varphi(x, q, p, a, \tau), \quad (5.1)$$

де  $x, q, p, a$  – вектори, відповідно стану системи, некерованих зовнішніх діянь, поливів і параметрів системи.

Як ми вже відмічали, центральною ланкою системи *грунт-рослина-приземне повітря* виступає вирощувана культура та її врожай. Саме тому більшість авторів приділяють головну увагу цій важливій ланці системи, що розглядається. Але при цьому необхідно відмітити одне головне протиріччя, яке безперечно, з нашої точки зору, має бути враховане і, по-можливості, усунене при побудові загальної моделі меліорованого поля взагалі, і на осушуваних землях зокрема.

Розглядаючи динамічні моделі розвитку посіву вирощуваних культур на меліорованих землях, ряд авторів найбільш відомих таких моделей, зокрема той же В.А.Платонов, Є.П.Галямин, Р.О.Полуектов, А.М.Полевой, І.О.Полетаєв та ін., поділяють думку про те, що поточний стан розвитку посіву визначається усією передісторією його розвитку, а тепло- й вологозабезпеченість посіву залежать як від стану рослин, так і метеорологічної обстановки та вмісту вологи в ґрунті.

Але використана ними структура побудови цих моделей, що аналогічна (5.1), не відповідає такій вимозі. Тобто процес нарощування біомаси або втрат урожаю культур на кожному розрахунковому кроці, що визначаються за такими моделями, розглядаються за В.А.Платоновим як незалежний, а тому зміни досліджуваних параметрів у будь-який момент часу визначаються лише поточним станом системи  $x(\tau)$  і не залежать від передісторії її

розвитку. Це пояснюється тим, що марківській характер відповідного процесу використовується у всіх відомих нам моделях, хоча їх автори не обмовляють цю обставину спеціально.

Отже, оскільки вирощувана культура входить складовою в загальну модель меліорованого поля у вигляді системи *грунт-рослина-приземне повітря* і знаходиться у взаємозв'язку з іншими ланками системи, безперечним має бути той факт, що поточний стан розвитку такої системи і кожної її ланки за будь-який проміжок часу протягом вегетації та на його кінець має визначатися усією передісторією розвитку системи.

За Л.С. Лесдоном такого роду часовий процес має місце в дискретній за часом динамічній системі (рис. 5.3).

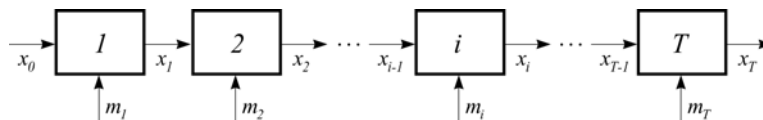


Рис. 5.3. Динамічна система, дискретна за часом

Тут величина  $x_i \in n_i$  – вектор, що представляє стан процесу, тоді як  $m$  – вектор управлінь (діянь), причому те й друге відноситься до моменту часу  $\tau = i$ . Стан процесу еволюціонує в часі згідно різницевого рівнянню

$$x_i = g_i(x_{i-1}, m_i, i), \quad x_0 - \text{задане}; \quad i = \overline{1, T}. \quad (5.2)$$

Повний вихід (прибуток) від дії системи за час  $T$  припускається як сума доходів на кожному етапі

$$\sum_{i=1}^T f_i(m_i, x_i, i). \quad (5.3)$$

Отже застосування такого підходу може бути цілком виправданим при побудові моделей врожайності вирощуваних сільськогосподарських культур на осушуваних землях.

### 5.2.2. Принципи побудови й реалізації моделі

Оскільки різних ознак і зв'язків у реальному об'єкті, що розглядається, незліченно багато, вирішальною умовою побудови його моделі, придатної для практичного використання на виробництві, є врахування таких його характеристик і властивостей, які в найбільшому ступені будуть задовольняти цілям, заради яких будується модель.

Тому за аналогією з моделлю В.А. Платонова (5.1), з урахуванням моделі Л.С. Лесдона (5.2), модель меліорованого поля на осушуваних землях у загальному неявному вигляді як модель дискретної за часом динамічної системи, що розглядається, може бути представлена рівнянням

$$\vec{x}_\tau = \varphi_\tau(x_{\tau-1}, q_\tau, p_\tau, a_\tau, \tau), \quad \tau = \overline{1, T}, \quad (5.4)$$

де  $\vec{x}_\tau$  –  $n$ -вектор, що представляє стан процесів на меліорованому полі у

будь-який момент часу  $\tau$  (де  $\tau$  – крок дискретизації моделі) при заданому початковому його значенні  $x_0$ .

Інші складові рівняння (5.4) є  $m$  – вектори управління (діянь): некерованих природних (перш за все метеорологічних) факторів  $q_\tau$ , керованих меліоративних (способів водорегулювання)  $p_\tau$  та параметрів системи  $a_\tau$ , – які відносяться до моменту часу  $\tau$ . Параметр  $x_{\tau-1}$  – вектор стану розвитку системи за попередній період.

Тоді, відповідно до (5.3), повний вихід (прибуток) від дії системи за час  $T = \sum \tau$  (період вегетації) визначиться як сума доходів на кожному з проміжних етапів за  $\tau$

$$\sum_{\tau=1}^T f_\tau(x_\tau, q_\tau, p_\tau, a_\tau, \tau). \quad (5.5)$$

Очікуваний розв’язок рівнянь (5.4) і (5.5) дозволить спрогнозувати й оцінити стан процесів на меліорованому полі для будь-якого способу (режиму) водорегулювання осушуваних земель, що задається вектором  $p_\tau$ , і конкретній агрометеорологічній обстановці –  $q_\tau$ , при заданій початковій умові  $x_0$ .

Представлена структура загальної моделі меліорованого поля достатньою мірою відповідає суті процесів, що відбуваються на осушуваних землях за різних природно-меліоративних умов з урахуванням попередньо досягнутих результатів на кожному з розрахункових (відповідно до кроку дискретизації моделі) інтервалів часу протягом періоду вегетації.

У подальшому необхідно орієнтуватись на модель системи, що розглядається, у вигляді комплексу (сукупності) ієрархічно зв’язаних імітаційних субмоделей, які описують умови функціонування кожної ланки:

- *природно-агротехнічної підсистеми* меліорованого поля виду *грунт-рослина-приземне повітря* на осушуваних землях - модель метеорологічних умов місцевості; модель водного режиму; моделі розвитку й формування врожаю вирощуваних культур;

- *технічно-меліоративної підсистеми* меліорованого поля щодо режимно-технологічного та конструктивно-технічного забезпечення водорегулювання осушуваних земель – моделі параметрів технологій та моделі параметрів конструкцій регулюючого елемента (підсистеми) ГМС в складі МС.

Підводячи підсумки виконаного теоретичного аналізу і вирішення окресленого завдання, вважаємо за необхідне відмітити, що загальна модель меліорованого поля на осушуваних землях і комплекс субмоделей, що описують її окремі ланки, повинні мати універсальний, наскільки це можливо, характер, а рівень їх складності, інформаційного забезпечення і точності отримуваних результатів мають бути такими, що дозволить застосовувати ці субмоделі для реалізації загальних комплексних моделей

оптимізації водорегулювання осушуваних земель на довготерміновій основі в умовах виробництва.

### **5.3. Модель з прогнозної оцінки на довготерміновій основі типових метеорологічних режимів**

В складних природно-технічних (або метеоролого-економічних) системах, до яких відносяться меліоративні системи взагалі і на осушуваних землях зокрема, вибір технічних рішень на різних часових рівнях їх прийняття має ґрунтуватись на використанні відповідної метеорологічної інформації з метою вибору *кліматологічно оптимальних стратегій* управління такими системами в багаторічному та внутрішньовеgetаційному перерізі.

Оскільки вирішальний вплив на формування водного і загального природно-меліоративного режимів осушуваних земель та врожаю вирощуваних культур у багатьох випадках спричиняють саме кліматичні або погодні умови, необхідно мати у своєму розпорядженні дані про їх реалізацію для відповідного об'єкта за ряд попередніх років ретроспективних спостережень. Кількість таких реалізацій та вибір конкретних років залежать від багаторічної міжсезонної варіабельності метеорологічних умов і, безсумнівно, повинні охоплювати всі типові для даного регіону їх виявлення.

Згідно розробленої нами загальної схеми видів і структури прогнозу стосовно рівнів прийняття рішень в часі, для побудови та реалізації моделей оптимізації в проектах будівництва, реконструкції та планової експлуатації меліоративних систем необхідно виходити з розробки відповідного прогнозу кліматичних (або погодних) умов як визначальної складової водного і загального природно-меліоративного режимів, що традиційно відноситься до так званого *кліматологічного прогнозу*.

Модель прогнозної оцінки метеорологічних режимів є першою ланкою в ланцюзі реалізації комплексу прогнозно-оптимізаційних розрахунків на довготерміновій основі за розробленою структурною схемою їх виконання, від точності якої безпосередньо залежать результати усіх подальших обчислень, аж до остаточного прийняття проектних розв'язань.

Звідси достатній рівень надійності результатів прогнозних режимних розрахунків для розв'язування різного рівня оптимізаційних задач при проектуванні та експлуатації меліоративних систем, а також виконанні зв'язаних з цим агрометеорологічних прогнозів, можна забезпечити шляхом введення в ці розрахунки метеорологічної інформації, яка в найбільш достатній мірі відображає типові природно-кліматичні умови об'єкта, що розглядається.

#### **5.3.1. Вихідні передумови до побудови моделі**

У випадку наявності даних багаторічних спостережень розроблена і пропонується можлива реалізація моделі, яка дозволяє виконати аналіз та



оцінку мінливості основних метеофакторів (опадів, температури, дефіциту та відносної вологості повітря) на підставі узагальнення результатів минулих ретроспективних спостережень за 35-50 років по метеостанціях і постах базової мережі Держкомгідромету України, що розташовані поряд (до 50 км) з досліджуваним об'єктом.

Визначення типового розподілу основних метеорологічних величин у характерні за зволоженням вегетаційні періоди повинно базуватися на даних метеорологічних спостережень, включаючи регулярні спостереження останніх років, які опубліковані в офіційних документах Гідрометеослужби України в галузі метеорології і кліматології.

До числа офіційних документів, які опубліковані з метеорології, відносяться метеорологічні щорічники, в яких наведені результати спостережень за період з 1951 по 1960 рр., а також метеорологічні щомісячники, в яких опубліковані місячні висновки і вибірки з матеріалів спостережень за період, починаючи з 1960 р.

Крім цього, можуть бути використані матеріали місячних таблиць, які складені і перевірені на метеорологічних станціях, а також перевірені в обласних гідрометеорологічних центрах і вважаються підготовленими до друку.

Також, можуть бути використані дані спостережень, які опубліковані в агрометеорологічних щорічниках.

Така модель дозволяє схематизувати метеорологічні режими і отримати типовий розподіл метеофакторів за розрахункові проміжки часу (пентада, тиждень, декада, місяць) всередині розрахункових щодо умов тепло- й вологозабезпеченості вегетаційних періодів.

Розрахункові щодо вологозабезпеченості вегетаційні періоди та відповідний розподіл метеорологічних елементів визначаються шляхом застосування багатомірного статистичного аналізу багаторічних рядів спостережень за усіма основними метеофакторами та побудованими на їх основі комплексами із застосуванням комплексної оцінки метеорологічних умов у межах загального розрахункового періоду.

### **5.3.2. Алгоритм реалізації моделі**

Укрупнена блок-схема реалізації зазначеної моделі подана на рис. 5.4. Алгоритм виконання розрахунків за такою моделлю та пояснення до них виглядають наступним чином.

1. Введення вихідних даних в програму розрахунку (рис. 5.4, блок 2). При наявності даних багаторічних спостережень за основними метеофакторами маємо масиви вихідних даних (база даних), що можуть бути представлені у векторно-матричному вигляді як

$$\bar{x}_{fj\tau} = (\bar{P}_{j\tau}, \bar{T}_{j\tau}, \bar{D}_{j\tau}, \bar{H}_{j\tau}), \quad f = \overline{1, n_f}; \quad j = \overline{1, n_j}; \quad \tau = \overline{1, n_\tau}. \quad (5.6)$$



Рис. 5.4. Структурна блок-схема з визначення типового розподілу метеофакторів при наявності даних багаторічних спостережень



Рис. 5.4. Закінчення

де  $\vec{x}_{fj\tau}$  – вектори стану (масиви даних ретроспективних строкових спостережень) основних метеофакторів сукупності  $\{f\}$ ,  $f = \overline{1, n_f}$  ( $n_f = 4$ ): сум опадів  $P_{j\tau}$  (мм) і середніх значень температури  $\overline{T}_{j\tau}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), дефіциту  $\overline{D}_{j\tau}$  (мм) та відносної вологості повітря  $\overline{H}_{j\tau}$  (%) – за розрахункові інтервали часу (доба, пентада, декада) сукупності  $\{\tau\}$ ,  $\tau = \overline{1, n_{\tau}}$  всередині вегетаційного періоду  $j$ -х років спостережень сукупності  $\{j\}$ ,  $j = \overline{1, n_j}$ .

База даних для виконання розрахунків типового розподілу метеорологічних величин формується з середніх за декаду температур повітря  $\overline{T}_{j\tau}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ; середніх за декаду дефіцитів вологості повітря  $\overline{D}_{j\tau}$ , мм; середніх за декаду значень відносної вологості повітря  $\overline{H}_{j\tau}$ , %; сум атмосферних опадів за декаду  $P_{j\tau}$ , мм за весь період спостережень на метеорологічній станції.

2. За відсутності даних з дефіциту ( $\overline{D}_{j\tau}$ ), або відносної вологості повітря ( $\overline{H}_{j\tau}$ ) обчислюються потрібні їх значення (рис. 5.4, блок 3).

Шляхом опрацювання за відповідним програмним забезпеченням багаторічних даних ряду метеостанцій зони достатнього та нестійкого зволоження України і середніх багаторічних даних, що представлені в довідковій літературі, а також використовуючи за основу загальновідоме рівняння Магнуса, отримані залежності, які дають змогу визначити величину дефіциту чи відносної вологості повітря за наявності одного з цих метеофакторів та температури повітря за будь-який розрахунковий інтервал часу  $\tau$  усереднення вказаних елементів, що більший ніж доба (пентада, тиждень, декада, місяць, період вегетації).

Відповідно:

$$\overline{D}_{\tau} = 6,3 \left( 1 - \frac{\overline{H}_{\tau}}{100} \right)^{1,11} \exp \left( \frac{17,1 a_f \overline{T}_{\tau}}{235 + \overline{T}_{\tau}} \right), \text{ мм}; \quad (5.7)$$

$$\overline{H}_{\tau} = 100 - 19,1 \left[ \overline{D}_{\tau} / \exp \left( \frac{17,1 a_f \overline{T}_{\tau}}{235 + \overline{T}_{\tau}} \right) \right]^{0,9}, \text{ \%}, \quad (5.8)$$

де  $\overline{D}_{\tau}$ ,  $\overline{H}_{\tau}$ ,  $\overline{T}_{\tau}$  – середні значення відповідно дефіциту (мм), відносної вологості (%) та температури ( $^{\circ}\text{C}$ ) повітря за розрахунковий час  $\tau$ ;

$a_f$  – емпіричний коефіцієнт, який має виражений зональний характер і для зони достатнього та нестійкого зволоження України змінюється в межах від 0,90 до 1,10.

При виконанні розрахунків в першому наближенні приймається  $a_f = 1,0$  і, при необхідності, воно може бути уточнене за фактичними даними шляхом параметризації моделі.

3. За вихідними даними (5.6) обчислюються необхідні вегетаційні значення з метеофакторів і побудованих на їх основі метеорологічних комплексів (рис. 5.4 блок 4).

Для цього використовуються обчислені за вихідними даними строкових спостережень за розрахункові проміжки часу  $\{\tau\}$ ,  $\tau = \overline{1, n_\tau}$  (добових, п'ятиденних чи декадних) вегетаційні значення метеофакторів сукупності  $\{f\}$ ,

$f = \overline{1, n_f}$  ( $n_f = 4$ ): сум для опадів  $P_j = \sum_{\tau=1}^{n_\tau} P_{j\tau}$  і середніх значень

температури  $\overline{T}_j = \sum_{\tau=1}^{n_\tau} T_{j\tau} / n_\tau$ , дефіциту  $\overline{D}_j = \sum_{\tau=1}^{n_\tau} D_{j\tau} / n_\tau$  та відносної

вологості повітря  $\overline{H}_j = \sum_{\tau=1}^{n_\tau} H_{j\tau} / n_\tau$ , а також побудованих на їх основі метеорологічних комплексів.

Як метеорологічні комплекси розглянуті наступні показники, що за структурою побудови аналогічні до меліоративних і агрокліматичних показників, які традиційно використовуються для оцінки умов тепло- й вологозабезпеченості територій (*коефіцієнт водного балансу* О.М. Костякова, *гідротермічний коефіцієнт* Г.Т. Селянінова тощо):

– **індекс посушливості**  $EP_j$ , який зв'язує опади і випаровування у вигляді відношення сумарної за період вегетації випаровуваності  $E_j^0$  (мм), що визначається за загальновідомою формулою Н.Н. Іванова залежно від значень температури  $\overline{T}_j$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) та відносної вологості повітря  $\overline{H}_j$  (%), до суми опадів за відповідний період  $P_j$  (мм)

$$EP_j = E_j^0 / P_j; \quad (5.9)$$

– **гідротермічний коефіцієнт надходження**  $PT_j$ , який зв'язує сумарні опади  $P_j$  (мм) і температуру  $T_j$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) у вигляді відношення

$$PT_j = P_j / T_j, \text{ мм}/^{\circ}\text{C}; \quad (5.10)$$

– **гідротермічний коефіцієнт витрат**  $ET_j$ , який зв'язує сумарне випаровування  $E_j^0$  (мм) і температуру  $T_j$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) у вигляді відношення

$$ET_j = E_j^0 / T_j, \text{ мм}/^{\circ}\text{C}. \quad (5.11)$$

Розглянуті метеорологічні комплекси враховують всі основні метеофактори, які достатньою мірою характеризують кліматичні умови місцевості в цілому за період вегетації і використовуються в режимних водобалансових та агрометеорологічних розрахунках.

Крім того, вони зв'язані між собою

$$ET_j = EP_j \cdot PT_j, \text{ мм}^\circ \text{C}. \quad (5.12)$$

Тобто отримуємо нові обчислені масиви даних виду

$$\vec{x}_{ij} = (P_j, \bar{T}_j, \bar{D}_j, \bar{H}_j, EP_j, PT_j, ET_j), \quad i = \overline{1, l}; \quad j = \overline{1, n_j}, \quad (5.13)$$

де  $\vec{x}_{ij}$  – вектори стану (масиви обчислених даних) вегетаційних значень досліджуваних метеофакторів і комплексів сукупності  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, l}$  ( $l = 7$ ) за роки спостережень сукупності  $\{j\}$ ,  $j = \overline{1, n_j}$ .

За масивами даних (5.13) формуються статистичні послідовності з вегетаційних значень метеорологічних факторів і комплексів  $\bar{X}_{ij}$   $i = \overline{1, l}$ ;  $j = \overline{1, n_j}$  для подальшої їх схематизації за типовими метеорологічними режимами.

Для отриманих статистичних послідовностей за стандартними методиками визначаються такі основні статистичні характеристики (рис. 5.4 блок 5): забезпеченість  $p_{ij}$  (%) фактичних вегетаційних значень метеорологічних величин  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, l}$  статистичного ряду  $\{j\}$ ,  $j = \overline{1, n_j}$ ; їх максимальні  $X_i^{max}$  і мінімальні  $X_i^{min}$  значення; розмах варіювання (амплітуда)  $A_i$ ; середні арифметичні значення (середні багаторічні норми)  $\bar{X}_i$ ; модульні коефіцієнти  $k_{p_{ij}}$ ; коефіцієнти варіації  $C_{v_i}$  та асиметрії  $C_{s_i}$ ; відносні середні квадратичні похибки  $S_{\bar{X}_i}$ ,  $S_{C_{v_i}}$ ,  $S_{C_{s_i}}$  й ін.

Статистичні ряди  $\bar{T}_j, \bar{D}_{j\tau}, EP_j, ET_j$  формуються від найменшого до найбільшого значення, тобто в порядку збільшення. Статистичні ряди  $\bar{H}_j, P_j, PT_j$ , формуються від найбільшого значення до найменшого, тобто в порядку зменшення.

Для кожного члену статистичного ряду, сформованого в порядку зменшення визначають емпіричну щорічну ймовірність перевищення (забезпеченість) метеорологічної величини чи комплексу за формулою

$$p_{ij} = \frac{m}{n+1} 100\%, \quad (5.14)$$

де  $m$  – порядковий номер члену ряду метеорологічної величини або комплексу, розташованих у порядку зменшення;

$n$  – загальне число членів статистичної послідовності.

Для кожного члену статистичного ряду, сформованого в порядку збільшення, забезпеченість метеорологічних величин і комплексів визначається за різницею  $(100 - p)$ , %.

По кожному зі статистичних рядів метеорологічних величин і комплексів визначаються основні статистичні характеристики.

Максимальне  $(X_{max})$  і мінімальне  $(X_{min})$  значення ряду.

Амплітуда  $A$  або розмах мінливості визначається, як різниця

$$A = (X_{max} - X_{min}). \quad (5.15)$$

Середнє арифметичне значення статистичного ряду розраховують за співвідношенням

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_j, \quad (5.16)$$

де  $X_j$  – значення  $\bar{T}_j$ ,  $\bar{D}_{j\tau}$ ,  $EP_j$ ,  $\bar{H}_j$ ,  $ET_j$ ,  $P_j$ ,  $PT_j$  за вегетаційний період конкретного року спостережень, що входить до статистичного ряду.

Для кожного члену ряду визначають модульні коефіцієнти  $(k_j)$  за співвідношенням

$$k_j = \frac{X_j}{\bar{X}}. \quad (5.17)$$

Визначають коефіцієнт варіації метеорологічних величин і комплексів  $(C_v)$ , що характеризують їх мінливість, використовуючи залежність

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (k_j - 1)^2}{n - 1}}. \quad (5.18)$$

Відносну середню квадратичну похибку середнього арифметичного значення ряду  $(\sigma_{\bar{X}})$  визначають за формулою

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{C_m}{\sqrt{m}}. \quad (5.19)$$

Коефіцієнт асиметрії  $(C_s)$  визначається за формулою

$$C_s = \frac{n \sum_{j=1}^n (k_j - 1)}{C_v (n - 1)(n - 2)}. \quad (5.20)$$

Умови зволоження вегетаційного періоду в цілому характеризують значення метеорологічних величин і комплексів. Більш вологим умовам відповідають більші значення  $\bar{H}_j$ ,  $P_j$ ,  $PT_j$  та менші значення  $\bar{T}_j$ ,  $\bar{D}_{j\tau}$ ,  $EP_j$ ,

$ET_j$ . У статистичних рядах їм будуть відповідати менші порядкові номери ( $m$ ).

5. За результатами реалізації блоку 4 і блоку 5 виконується комплексна оцінка кліматичних умов досліджуваного об'єкта за відповідно розробленим показником.

На підставі багатомірного статистичного аналізу багаторічних рядів спостережень за основними метеофакторами окремих метеостанцій зони достатнього та нестійкого зволоження України, що виконувався загальноприйнятими методами з використанням комп'ютерної техніки, була розроблена методика комплексної оцінки кліматичних умов періоду вегетації за допомогою *інтегрального показника забезпеченості*  $CIP_j$  вегетаційних значень метеофакторів і побудованих на їх основі метеорологічних комплексів.

Останній визначається за формулою

$$CIP_j = 1 - \sum_{i=1}^l m_{ij} / (l \cdot n_j), \quad (5.21)$$

де  $\sum_{i=1}^l m_{ij}$  – сума місць, що займають метеофактори і комплекси сукупності  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, l}$  у приведених до порівняльного вигляду статистичних послідовностях їх вегетаційних значень за опрацьовуванні роки спостережень  $\{j\}$ ,  $j = \overline{1, n_j}$ .

Значення показника  $CIP_j$ , визначеного за (5.21), змінюються в межах  $\{0, 1\}$ , практично ніколи не досягаючи граничних значень, що підтверджує дійсно складний і неоднозначний характер кліматоутворюючих складових.

Отримані його значення опрацьовуються за допомогою статистик блоку 5 (рис. 5.4, блок 6).

6. При необхідності може бути здійснене обґрунтування й вибір з наявного ряду багаторічних спостережень репрезентативного періоду, який характеризує завершений цикл років щодо його вологозабезпеченості (рис. 5.4, блок 7).

Для цього може бути застосований метод, що розроблений в гідрології і описаний В.Г. Андрєяновим.

Він базується на використанні різницевих інтегральних кривих модульних коефіцієнтів і дозволяє включити в розрахунковий ряд однакову кількість багато- й маловодних циклів, що виключає перебільшення або применшення багаторічної норми метеофактора чи метеорологічного комплексу, що розглядаються. Опрацьовуваний ряд багаторічних спостережень вважається репрезентативним за умови, коли

$$\bar{k}_{pf} \rightarrow 1, \quad (5.22)$$



де середнє значення модульного коефіцієнта  $\bar{k}_{pf}$  за період ретроспективних спостережень в загальному випадку визначається за моделлю

$$\bar{k}_{pf} = 1 + \frac{\sum_{j=1}^{j+m} (k_{p_{fj}} - 1) - \sum_{j=1}^j (k_{p_{fj}} - 1)}{m}, \quad (5.23)$$

де  $\sum_{j=1}^j (k_{p_{fj}} - 1)$ ,  $\sum_{j=1}^{j+m} (k_{p_{fj}} - 1)$  – відповідні зростаючі суми відхилень річних модульних коефіцієнтів відповідних метеорологічних характеристик  $f$  від їх середнього багаторічного значення або норми  $(k_{p_{fj}} - 1)$  на кінець кожного  $j$ -го та  $(j + m)$ -го року за проміжок  $m$  спостережених років.

7. За тим здійснюється розподіл  $j$ -х членів послідовності на визначені, розрахункові щодо забезпеченості показника  $CIP_j$ , групи сукупності  $P = \{p\}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$  з подальшим формуванням відповідних груп з вегетаційних значень  $\{X_{ipj}\}$ ,  $i = \overline{1, l}$ ;  $p = \overline{1, 5}$ ;  $j = \overline{1, n_j}$  метеорологічних факторів і комплексів (рис. 5.4, блок 8).

При виконанні прогностичних режимних розрахунків на довготерміновій основі з достатньою для інженерної практики точністю, на підставі виконаних досліджень вважаємо за доцільне поділити наявні статистичні послідовності метеорологічних величин і комплексів на п'ять характерних (типових) щодо умов зволоженості груп за імовірністю перевищення (забезпеченості  $p$ , %) їх середніх вегетаційних значень. Схематично вони можуть бути представлені у вигляді наступної сукупності  $P = \{p\}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$  ( $n_p = 5$ ) з урахуванням природної зміни забезпеченості метеофакторів і комплексів у розрахункових групах за даними табл. 5.1.

Статистичний ряд за  $(CIP_j)$  розділяють на п'ять характерних за умовами зволоження вегетаційного періоду груп за відповідними значеннями емпіричної ймовірності перевищення ( $p_{ij}$ ). Для статистичного ряду за  $(CIP_j)$  визначають максимальне і мінімальне значення ( $X_{max}$  і  $X_{min}$ ); розмах мінливості ( $A$ ); середнє арифметичне значення ( $\bar{X}$ ); модульні коефіцієнти ( $k_j$ ); коефіцієнт варіації ( $C_v$ ); коефіцієнт асиметрії ( $C_s$ ); відносну середню квадратичну похибку середнього арифметичного значення ряду ( $\sigma_{\bar{X}}$ ).

Таблиця 5.1

Схематизація природно-кліматичних умов за розрахунковою  
забезпеченістю метеофакторів і комплексів

Забезпеченість $p$ (%) за $P_j, \bar{H}_j, PT_j, CIP_j$	Типові групи за розрахунковою забезпеченістю $P = \{p\}, p = \overline{1, n_p}$ ( $n_p = 5$ )	Забезпеченість $p$ (%) за $\bar{T}_j, \bar{D}_j, EP_j, ET_j$
0...20%	$p = 1$ , дуже волога	80...100%
20...40%	$p = 2$ , волога	60...80%
40...60%	$p = 3$ , середня	40...60%
60...80%	$p = 4$ , суха	20...40%
80...100%	$p = 5$ , дуже суха	0...20%

Поділ статистичного ряду за ( $CIP_j$ ) проводиться від середнього арифметичного його значення, від якого виділяють по 10% забезпеченості уверх і вниз групу середніх умов зволоження. Надалі по 20% забезпеченості уверх виділяють групу вологих і дуже вологих умов вегетаційного періоду і по 20% забезпеченості униз виділяють групу сухих і дуже сухих умов. В результаті такого поділу в кожен групу умов зволоження попадають характерні календарні роки періоду спостережень, при цьому кількість років у кожній групі може бути різною.

Такий підхід уявляється правомірним тому, що маючи статистичні послідовності з наявними, практично досить обмеженими об'ємами вибірки (звичайно в межах 30-50 років), загальна кількість типових (розрахункових щодо умов тепло- й вологозабезпеченості) груп повинна бути такою, щоб дотримувалась вимога щодо істотної різниці між значеннями вегетаційних норм  $\bar{X}_{fp}, f = \overline{1, n_f}; p = \overline{1, n_p}$  метеофакторів і комплексів серед визначених груп та її відсутності між відповідними спостереженими значеннями  $X_{fpj}, f = \overline{1, n_f}; p = \overline{1, n_p}; j = \overline{1, n_j}$  в межах кожної групи.

За сформованими вегетаційними значеннями метеорологічних факторів і комплексів у межах розрахункових груп, обчислюються такі статистичні показники: середні арифметичні значення  $\bar{X}_{ip}, i = \overline{1, l}; p = \overline{1, 5}$ ; величини дисперсії  $S_{ip}^2$  та  $S_{ip}, i = \overline{1, l}; p = \overline{1, 5}$ ; абсолютні  $S_{\bar{X}_{ip}}$  та відносні  $S_{\bar{X}_{ip}} (\%)$ ,  $i = \overline{1, l}; p = \overline{1, 5}$  похибки вибірових середніх; їх довірчі інтервали з

використанням критерію Стюдента  $t_{05}$  на 5%-му рівні значущості  $\bar{X}_{ip} \pm t_{05} \cdot S_{\bar{X}_{ip}}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$ ;  $p = \overline{1, 5}$ .

8. Для оцінки істотності різниці між отриманими вибірковими середніми вегетаційними значеннями метеофакторів і комплексів  $\bar{X}_{ip}$  у межах розрахункових груп  $\{p\}$ ,  $p = \overline{1, 5}$  застосовується дисперсійний аналіз з використанням критерію Фішера  $F_{05}$  на 5%-му рівні значущості. Цим підтверджується суттєвість поділу опрацьовуваних статистичних послідовностей на 5 типових (розрахункових щодо вологозабезпеченості) груп (рис. 5.4, блок 9).

Оцінка суттєвості різниці між виділеними групами умов зволоження проводиться із застосуванням дисперсійного аналізу. Порівнюють для кожної метеорологічної величини і комплексу окремо 5 варіантів (5 груп умов зволоження вегетаційного періоду).

За даними метеорологічних величин та метеорологічних комплексів по кожному із років періоду спостережень, які входять до виділених варіантів (типових груп років за розрахунковою забезпеченістю сукупності  $\{p\}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$ ), визначають для цих варіантів відповідні суми метеорологічних величин і комплексів ( $V_1; V_2; V_3; V_4; V_5$ ).

Визначають середні арифметичні значення кожної величини і комплексу для кожного із варіантів:  $\bar{X}_1 = V_1 / n_1$ ; ...  $\bar{X}_p = V_p / n_p$ . У даному випадку  $(n_1; n_2; n_3; n_4; n_5)$  – число років спостережень, які увійшли в кожну розрахункову групу (варіант).

Визначають для загального статистичного ряду кожної величини і комплексу їх загальну суму

$$\sum X_j = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5. \quad (5.24)$$

Обчислюють для кожної метеорологічної величини і комплексу значення корегуючого фактору

$$C = \left( \sum X_j \right)^2. \quad (5.25)$$

Знаходять загальну суму квадратів

$$C_y = \sum X_j^2 - C. \quad (5.26)$$

Визначають суму квадратів по варіантах

$$C_w = \left( \frac{V_1^2}{n_1} + \frac{V_2^2}{n_2} + \frac{V_3^2}{n_3} + \frac{V_4^2}{n_4} + \frac{V_5^2}{n_5} \right) - C. \quad (5.27)$$

Підраховують суму квадратів для похибки (залишку)

$$C_z = C_y - C_w. \quad (5.28)$$

Оцінюють дисперсію по варіантах і дисперсію похибки

$$S_w^2 = \frac{C_w}{n_p - 1}; \quad (5.29)$$

$$S^2 = \frac{C_z}{n_j - n_p}, \quad (5.30)$$

де  $n_p$  – кількість варіантів (груп),  $n_p = 5$ .

Визначають для кожної метеорологічної величини і комплексу фактичне значення критерію Фішера

$$F_\phi = \frac{S_w^2}{S^2}. \quad (5.31)$$

За допомогою таблиць значень критерію Фішера в залежності від ступенів вільності дисперсії варіантів ( $n_p - 1$ , чисельник) та ступенів вільності дисперсії похибки ( $n_j - n_p$ , знаменник) для 95% рівня довірчої імовірності визначають теоретичне значення критерію Фішера ( $F_{05}$ ).

Для кожної метеорологічної величини і комплексу порівнюють ( $F_\phi$ ) з ( $F_{05}$ ). Між варіантами (групами умов зволоження) є суттєва різниця на 5% рівні значущості, якщо виконується умова

$$F_\phi > F_{05}. \quad (5.32)$$

При виконанні умови для оцінки значущості різниці між середніми значеннями груп застосовують найменшу суттєву різницю ( $HCP_{05}$ )

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot S_d, \quad (5.33)$$

де  $t_{05}$  – критерій Стюдента для 95% рівня довірчої ймовірності при ступені вільності ( $n - 1$ );

$S_d$  – похибка різниці суміжних середніх.

Похибка ( $S_d$ ) визначається за формулою

$$S_d = \sqrt{\frac{S^2}{n_i} + \frac{S^2}{n_{i+1}}}, \quad (5.34)$$

де  $S^2$  – дисперсія похибки;

$n_i$  та  $n_{i+1}$  – відповідно, кількість членів ряду двох суміжних груп (варіантів).

Якщо різниця між двома середніми значеннями двох суміжних груп ( $d$ ) буде більшою за ( $HCP_{05}$ ), то вона є значущою.

9. Після поділу статистичної послідовності на типові групи визначаються частки різних щодо вологозабезпеченості періодів вегетації  $\{\alpha_p\}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$  в межах опрацьовуваного періоду  $\{j\}$ ,  $j = \overline{1, n_j}$  (рис. 5.4, блок 10)

$$\alpha_p = n_{jp} / n_j, \quad p = \overline{1, n_p}, \quad (5.35)$$

де  $n_{jp}$  — кількість членів ряду років спостережень сукупності  $\{j\}$ ,  $j = \overline{1, n_j}$ , що увійшли до  $p$ -ї за зволоженістю групи років сукупності  $\{p\}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$  опрацьовуваної статистичної послідовності.

10. Типовий розподіл розглянутих метеофакторів отримуємо шляхом усереднення їх значень в тій чи іншій визначеній розрахунковій групі років за відповідні розрахункові інтервали часу сукупності  $\{\tau\}$ ,  $\tau = \overline{1, n_\tau}$  всередині розрахункових щодо вологозабезпеченості періодів вегетації сукупності  $\{p\}$ ,  $p = \overline{1, 5}$  (рис. 5.4, блок 11).

Аналогічно до (5.6) в декадному перерізі маємо

$$\bar{x}_{fp\tau} = \{x_{fp\tau}\} = (P_{p\tau}, \bar{T}_{p\tau}, \bar{D}_{p\tau}, \bar{H}_{p\tau}), \quad f = \overline{1, 4}; \quad p = \overline{1, 5}; \quad \tau = \overline{10, 30}. \quad (5.36)$$

11. Процедура аналітичного аналізу результатів обчислень (рис. 5.4, блок 12) передбачає візуальну параметричну оцінку й порівняння числових значень отриманих типових внутрішньовегетаційних розподілів основних метеофакторів за даними багаторічних спостережень по об'єкту, що розглядається.

12. За отриманими результатами з визначення типового розподілу метеофакторів за фактичними даними здійснюється їх формалізація (рис. 5.4, блок 13).

Розподіл вегетаційних норм метеорологічних величин  $\bar{X}_{fp}$ ,  $f = \overline{1, n_f}$ ;  $p = \overline{1, n_p}$  за розрахункові проміжки часу  $\{\tau\}$ ,  $\tau = \overline{1, n_\tau}$  всередині розрахункових щодо вологозабезпеченості періодів вегетації може бути представлений кривими Фур'є  $n$ -го порядку такою загальною моделлю у векторно-матричному вигляді

$$\bar{x}_{fp} = a_{0_{fp}} + \sum_{n=1}^n \left( a_{n_{fp}} \cos nC \cdot \tau + b_{n_{fp}} \sin nC \cdot \tau \right),$$

$$f = \overline{1, n_f}; \quad p = \overline{1, n_p}; \quad \tau = \overline{1, n_\tau}, \quad (5.37)$$

де  $\bar{x}_{fp}$  — вектор стану (розрахункові величини значень)  $f$ -го метеофактора за розрахунковий інтервал часу всередині  $p$ -го розрахункового щодо вологозабезпеченості періоду вегетації;

$C$  – константа, яка дорівнює  $360^\circ/N_x$  (де  $N_x$  – кількість розрахункових інтервалів часу в циклі);

$n$  – порядок періодичної кривої;

$a, b$  – емпіричні коефіцієнти рівняння періодичної кривої.

Застосування кривих Фур'є 2-го порядку в цілому забезпечує достатню для інженерної практики відповідність фактичних і розрахункових даних.

Оцінка імітаційної здатності моделі (рис. 5.4, блок 14) здійснюється за допомогою відповідних статистичних методів, критеріїв і показників.

13. Процедура аналітичного аналізу результатів моделювання (рис. 5.4, блок 15) передбачає візуальну параметричну оцінку й порівняння числових значень отриманих фактичних і розрахункових розподілів метеорологічних факторів, а також відповідних статистичних показників і критеріїв з їх оцінки.

14. Процедура графічного аналізу результатів моделювання (рис. 5.4, блок 16) передбачає візуальну оцінку й порівняння отриманих фактичних і розрахункових розподілів метеорологічних факторів у графічному вигляді.

15. Процедура друку (рис. 5.4, блок 17) передбачає виведення будь-яких результатів моделювання в аналітичному чи графічному вигляді.

#### **5.4. Модель прогнозу оцінки водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель**

Модель водного режиму і технологій водорегулювання входить необхідною складовою до комплексу прогнозно-оптимізаційних моделей, що розробляються, і відіграє надзвичайно важливу роль, оскільки сполучає в собі параметри режимів і параметри технологій, а тому є тією необхідною зв'язуючою ланкою між параметрами ефекту та параметрами конструкцій при обґрунтуванні проектних рішень на еколого-економічних засадах.

Водний режим осушуваних земель через його основні характеристики – режим рівня ґрунтових вод (РГВ)  $H_g = f(\tau)$  і вологозапасів ґрунту  $W = f(\tau)$  – за фіксованих водно-фізичних властивостей середовища (ґрунту) і скінчених відрізків часу  $\{\tau\}$ ,  $\tau = \underline{\tau}, \bar{\tau}$  у межах розрахункового вегетаційного періоду ( $p$ -ї щодо вологозабезпеченості ймовірності перевищення) у загальному вигляді схематично можна представити як

$$F = (H_g, W, \tau) = N_0 + \sum_{\tau=\underline{\tau}}^{\tau=\bar{\tau}} f_{\tau}(P_{\tau}, E_{\tau}, V_{\tau}, m_{\tau}), \quad (5.38)$$

де:  $N_0$  – початкові умови;

$P_{\tau}$  – опади;

$E_{\tau}$  – сумарне випаровування;

$V_{\tau} = \varphi_{\tau}(Hg, W)$  – функція вологообміну зони аерації з РГВ;

$m_{\tau}$  – поливна норма при зволоженні осушуваних земель;

$\tau = \underline{\tau}, \bar{\tau}$  – зміна процесу формування водного режиму в часі від розрахункового інтервалу початку  $\underline{\tau}$  до його закінчення  $\bar{\tau}$ .

При цьому процес формування водного режиму розраховується на основі взаємозв'язку та взаємозумовленості його визначальних складових на границях прийнятого розрахункового шару ґрунту (РШГ) і в ув'язці з процесом перерозподілу вологи всередині його.

В прогнозі режиму вологості ґрунту та при перевірці оптимальності умов зволоження під впливом запроєктованих меліоративних заходів водобалансовий підхід можна використовувати, коли

$$Wh_{\tau} = Wh_{\tau-l} + \sum_{\tau-l}^{\tau} Q_m \leq Wh^0, \quad (5.39)$$

де  $Wh_{\tau}, Wh_{\tau-l}$  – вологозапаси РШГ  $h$  відповідно на початок  $(\tau - l)$  і кінець  $\tau$  розрахункового терміну часу  $\Delta \tau$ ;

$Q_m$  – прибуткові та витратні елементи вологи на границях РШГ, що визначають вологообмін та зміну вологовмісту в цьому шарі;

$Wh^0$  – граничний вологовміст за водоутримуючої здатності РШГ.

Аналогічно до загальної моделі, для режиму РГВ

$$Hg_{\tau} = Hg_{\tau-l} + \sum_{\tau-l}^{\tau} \Delta Hg_n, \quad (5.40)$$

де  $Hg_{\tau-l}, Hg_{\tau}$  – відповідний РГВ на початок  $(\tau - l)$  і кінець  $\tau$  розрахункового терміну часу  $\Delta \tau$ ;

$\Delta Hg_n$  – зміна РГВ в межах розрахункового терміну часу  $\Delta \tau$  під впливом зовнішніх  $n$  – факторів.

Розрахунки за моделями, які представляють собою систему (комплекс) ієрархічно зв'язаних субмоделей, виконуються за сукупністю прибуткових і витратних елементів вологи з урахуванням зміни їх в часі і в процесі взаємодії за дискретними інтервалами часу, що послідовно змінюються від будь-якого початкового моменту з відомими початковими умовами.

При такому підході умови вологообміну за поточний розрахунковий інтервал часу  $\tau$  враховують ситуацію за попередній період  $(\tau - l)$  та особливості внутрішньосезонної ходи окремих складових елементів водного балансу, що взагалі відповідає прийнятій за основу структурі побудови та реалізації загальної моделі меліорованого поля на осушуваних землях.

Виходячи з попередньо розглянутих загальних положень і передумов щодо розробки означеної моделі, таким вимогам достатньою мірою відповідає рівняння водного балансу рекурентного типу, що представлене в інтегральній формі аналогічно до моделей (5.38) та (5.39).

В принципі, рівняння (5.3) може бути використане для цілей моделювання водного режиму меліорованого поля на осушуваних землях у загальному двовимірному випадку, коли його реалізація розглядається стосовно таких змінних координат: часу  $\tau$  та простору – зміни глибини РШГ  $h_\tau$  в часі у вертикальній площині. Проте це, в свою чергу, пов'язане з певними труднощами практичного характеру, зумовленими наступним.

Що стосується першої змінної координати, то модель (5.3) може бути реалізована для будь-яких інтервалів часу (доба, пентада, тиждень, декада, місяць, період вегетації й ін.). При цьому необхідна точність такого розв'язку досягається ціною значних витрат часу. Але з тих пір як сучасні комп'ютери значно прискорили розрахунки, що раніш виконувалися вручну, час, необхідний для їх виконання, перестав бути серйозною проблемою.

Щодо другої змінної координати, то це питання потрібно розглядати у декількох аспектах. З одного боку задача оцінки й прогнозу водного режиму ґрунтів розглядається нами стосовно необхідності у вологозабезпеченості посівів вирощуваних культур. Можливість останнього визначається розвитком (змінною в часі) глибини кореневої системи культури і вологістю ґрунту. А це, в свою чергу, зумовлює необхідність прийняття змінної величини РШГ  $h(\tau)$  для балансового рівняння, яка в загальному випадку повинна визначатися глибиною проникнення кореневої системи вирощуваної культури в ґрунт.

З іншого боку, бажання врахувати нерівномірність водоспоживання культур з різних шарів ґрунту викликає значне ускладнення моделі за рахунок збільшення числа її компонент, оскільки евапотранспірація є  $n$ -мірною функцією вологості ґрунту ( $n$ - кількість шарів, на які необхідно розбити кореневмісний шар), тому слід розглядати  $n$ -мірну модель динаміки вологості стосовно процесів перерозподілу кореневої системи в ґрунті протягом вегетації культури.

Для осушуваних ґрунтів вже є приклади розробки таких моделей, але як показала практика їх застосування, при цьому значною мірою зростає кількість необхідних параметрів, які слід вводити для побудови та реалізації цих моделей, які неможливо проконтролювати у виробничих умовах. Крім того, залишається відкритим питання стосовно точності розрахунків при реалізації пошарово-балансової моделі для прогнозування водного режиму осушуваних земель на довготерміновій основі. Все це вказує на недоцільність використання такої моделі на виробництві.

Тому, якщо ми бажаємо побудувати модель водного режиму осушуваних земель, виходячи із специфічних вимог до побудови загальної моделі меліорованого поля стосовно відповідного рівня розв'язування прогнозно-оптимізаційних задач, необхідно відмовитись від бажання врахувати водоспоживання й, відповідно, вологообмін з різних шарів ґрунту та обмежитись її простим одношаровим варіантом.



Крім того, численними, в тому числі і проведеними нами дослідженнями доведено, що в умовах неглибокого розташування РГВ - 0,8...1,4 м, найбільшій зміні й мінливості в часі зазнають вологозапаси в шарі ґрунту потужністю до 0,5 м. На більшій глибині (аж до РГВ) вони практично майже не змінюються, або змінюються дуже мало за рахунок капілярного живлення.

Таким чином, виходячи з викладеного та прийнятої за основу розрахункової схеми (рис. 5.5), модель прогнозної оцінки на довготерміновій основі водного режиму меліорованого поля на осушуваних землях ґрунтується на реалізації «простого» рівняння водного балансу найбільш активного кореневмісного шару ґрунту  $h=0,5\text{м}$  (тобто  $h_{\tau}=\text{const}$ ), що досить розповсюджене в практиці створення такого роду моделей виробничого характеру як у нашій країні, так і за її межами.

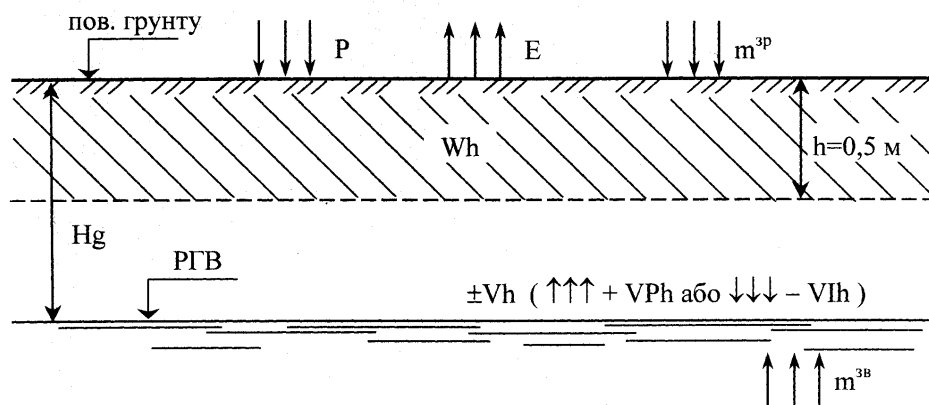


Рис. 5.5. Розрахункова схема моделі водного режиму осушуваних земель

Для прийнятої структури розрахунків і заданого кроку дискретизації  $\tau$ ,  $\tau = \overline{1, n_{\tau}}$  (пентада, тиждень, декада – відповідно до реалізації моделі метеорологічних режимів) означена модель має такий загальний вигляд.

$$Wh_{\tau} = Wh_{\tau-1} + P_{\tau} - E_{\tau} \pm Vh_{\tau} + m_{\tau}, \quad \tau = \overline{1, n_{\tau}}, \quad \text{м}^3/\text{га}, \quad (5.41)$$

де  $Wh_{\tau}$ ,  $Wh_{\tau-1}$  – відповідні запаси продуктивної води РШГ на кінець розрахункових поточного  $\tau$  і попереднього  $(\tau-1)$  інтервалів часу при заданому початковому значенні  $Wh_0$ ;

$P_{\tau}$  – величина опадів за час  $\tau$ ;

$E_{\tau}$  – відповідна величина сумарного випаровування;

$Vh_{\tau}$  – величина водообміну РШГ  $h$  з нижчерозташованими шарами й РГВ у вигляді живлення (+)  $VVh_{\tau}$  або інфільтрації (–)  $VIh_{\tau}$ ;

$m_{\tau}$  – поливна норма при відповідному способі зволоження.

Модель водного режиму у вигляді рівняння (5.41) описує квазістаціонарний процес, коли всі зміни досліджуваного складного явища відбуваються миттєво наприкінці розрахункового терміну часу  $\tau$ . Вона, в принципі, дозволяє виконувати водобалансові розрахунки при моделюванні в динаміці зміни водного режиму і визначальних його складових на меліорованому полі в межах меліоративної системи для можливих змінних множинних умов за сукупностями: метеостанцій і постів  $\{\omega\}$ ,  $\omega = \overline{I, n_\omega}$ ; розрахункових щодо вологозабезпеченості періодів вегетації  $\{p\}$ ,  $p = \overline{I, n_p}$ ; видів розповсюджених осушуваних ґрунтів  $\{g\}$ ,  $g = \overline{I, n_g}$ ; проектних видів вирощуваних культур  $\{k\}$ ,  $k = \overline{I, n_k}$ ; можливих способів водорегулювання осушуваних земель  $\{s\}$ ,  $s = \overline{I, n_s}$  тощо.

При цьому природно-меліоративні умови мають розглядатись як усередненні за рахунок типізації метеорологічних режимів щодо розрахункових періодів вегетації, схематизації й параметризації можливих способів водорегулювання осушуваних земель.

Що стосується способів водорегулювання осушуваних земель як технологічного аспекту гідромеліорацій, то тут мається на увазі, що реалізація відповідного способу забезпечується необхідними параметрами ГМС та складових її елементів (регулююча і провідна мережі, необхідні гідротехнічні споруди тощо), які визначаються за наявними апробованими методиками.

Складнощі реалізації такої «простої» моделі починаються, по-перше, з технічної можливості реалізації дуже великого обсягу прогностичних розрахунків, зумовлених необхідністю розгляду численних змінних параметрів, що впливають на умови формування водного режиму осушуваних земель.

По-друге, з необхідності наявності достатньо надійних та ефективних методів визначення складових рівняння водного балансу й необхідного для цього інформаційного забезпечення.

Що стосується першого, то як ми вже відмічали, з появою сучасних швидкодіючих комп'ютерів проблема часу виконання розрахунків практично відпадає. Щодо другого, то розрахунок водного балансу за сукупністю прибуткових і витратних елементів вологи у їх динаміці та взаємозв'язку, навіть при відносно «простому» вигляді рівняння (5.41), є досить складним.

Все це зумовило необхідність застосування на практиці як в зоні зрошувальних, так і осушувальних меліорацій спрощених підходів до реалізації балансових рівнянь виду (5.41) при виконанні прогностичних розрахунків на довготерміновій основі.

При цьому використовувалися, як правило, потенційно можливі за наявних кліматичних умов, гранично допустимі значення таких складових рівняння водного балансу як сумарне випаровування, вологообмін (до річі,

цією величиною досить часто і не завжди виправдано нехтували через складність її визначення) та витрати води (поливні норми) на зволоження меліорованих земель.

У такому разі розв'язок рівняння (5.41) зводився, переважно, до визначення безвідносної (не прив'язаної до способу водорегулювання) величини поливної  $m_\tau$  або зволожувальної норми  $M_p$  для зволоження ґрунтів у посушливі періоди вегетації через дефіцит водного балансу (або дефіцит сумарного водоспоживання), коли показник продуктивних вологозапасів активного шару ґрунту на кінець розрахункового інтервалу часу  $\tau$  приймав від'ємні значення, тобто  $Wh_\tau < 0$ . Такий підхід не можна вважати коректним щодо суті досліджуваного явища, але був загальноприйнятий як цілком припустимий в практичних водобалансових розрахунках.

На застосуванні такого підходу практично ґрунтується сьогодні метод визначення проектного режиму зволоження земель як в зоні зрошувальних, так і осушувальних меліорацій. Тому така структура взаємозв'язку між складовими рівняння (5.41) була використана нами за основу в раніш запропонованих методах водобалансових розрахунків з розробки проектних режимів зволоження сільськогосподарських культур на осушуваних землях.

Але за своєю суттю застосовуваний принцип є досить умовним, оскільки при реалізації такого підходу неможливо адекватно оцінити дійсно можливі чи фактичні умови формування водного режиму меліорованих земель через те, що не враховується факт трансформації або зміни потенційно можливих значень практично всіх складових рівняння (5.41) залежно від співвідношення між прибутковими і витратними складовими водного балансу стосовно наявних вологозапасів чи акумулюючої здатності ґрунту. Це, в свою чергу, безумовно призводить до значного перекичування результатів прогнозних розрахунків й, відповідно, недостатнього рівня обґрунтованості технічних і технологічних інженерних рішень при проектуванні та експлуатації меліоративних систем.

Внаслідок відносно повільно протікаючих у природних умовах процесів формування водного режиму осушуваних земель і пов'язаної з цим інерційності у взаємозв'язку окремих явищ і елементів цих процесів (випадання опадів, всмоктування і надходження води в ґрунт, інфільтрація її до РГВ, випаровування і живлення активного шару ґрунту з РГВ тощо) можливо розробляти й доцільно застосовувати відносно нескладні, але досить ефективні методи, які дозволяють враховувати трансформацію складових водного режиму в межах акумулюючої ємності ґрунту.

Виходячи з визначених і загальноприйнятих принципів взаємозв'язку і взаємозалежності між практично усіма складовими рівняння (5.41), нами розглянуто якісно інший підхід до реалізації моделі.

Принципова відмінність такого підходу полягає, по-перше, у тому, що режимні прогнозні розрахунки на довготерміновій основі виконуються для

схематизованих природно-меліоративних умов шляхом типізації метеорологічних режимів у розрахункові періоди вегетації, відповідної схематизації й параметризації способів водорегулювання осушуваних земель.

По-друге, пропонується в рамках балансового рівняння (5.41) виконувати не просте підсумовування жорстко заданих, потенційно можливих (кліматично забезпечених) значень його складових, як це переважно робилося до цієї пори, а, виходячи з визначених закономірностей, розраховувати процес формування водного режиму на основі взаємозв'язку і взаємозумовленості його елементів на границях і в ув'язці з процесом перерозподілу вологи всередині активного шару ґрунту стосовно його вологовмісту та акумулюючої здатності.

Такий підхід дозволяє визначити дійсно можливі (ефективні) значення величин сумарного випаровування  $EP_\tau$  (в т.ч. і його транспіраційної складової  $ET_\tau$ ), вологообміну активного шару ґрунту у вигляді живлення  $VPh_\tau$  або інфільтрації  $VH_\tau$ , витрати води  $m_\tau$  при необхідності зволоження осушуваних земель відповідним способом і, зрештою, величини ефективних вологозапасів ґрунту в межах розрахункового інтервалу часу  $\tau - \overline{WPh}_\tau$ .

Таким чином, задача прогнозої оцінки водного режиму осушуваних земель на довготерміновій основі формулюється як необхідність змодельовати протягом розрахункового періоду вегетації динамічну зміну в дискретному вигляді всіх складових, що входять до прийнятої за основу моделі (5.41) розрахунку водного балансу, для визначених за завданням змінних природно-меліоративних умов досліджуваного об'єкта.

Тому, виходячи з прийнятої загальної структури прогнозно-оптимізаційних розрахунків, практична реалізація моделі водного режиму має базуватись на використанні попередньо отриманих результатів за відповідними моделями прогнозу метеорологічних умов місцевості (типовий розподіл метеофакторів) і розвитку вирощуваних сільськогосподарських культур (фази їх розвитку в онтогенезі), вихідними даними за виконаною схематизацією й параметризацією способів водорегулювання осушуваних земель за різних природно-меліоративних умов, а сама модель розглядається та реалізується в декілька етапів у такій послідовності (рис. 5.6).

На першому етапі, за фіксованих значень множинних змінних умов об'єкта з  $\{\omega\}$ ,  $\omega = \overline{I, n_\omega}$ ;  $\{g\}$ ,  $g = \overline{I, n_g}$ ;  $\{k\}$ ,  $k = \overline{I, n_k}$ ;  $\{s\}$ ,  $s = \overline{I, n_s}$ ;  $\{p\}$ ,  $p = \overline{I, n_p}$  - визначаються потенційно можливі (кліматично обґрунтовані) значення складових моделі (рис. 5.6, блок 3), розглядається та реалізується така вихідна модель водного режиму (рис. 5.6, блок 4)

$$Wh_\tau = WPh_{\tau-1} + P_\tau - EV_\tau + VH_\tau, \tau = \overline{I, n_\tau}, \quad (5.42)$$

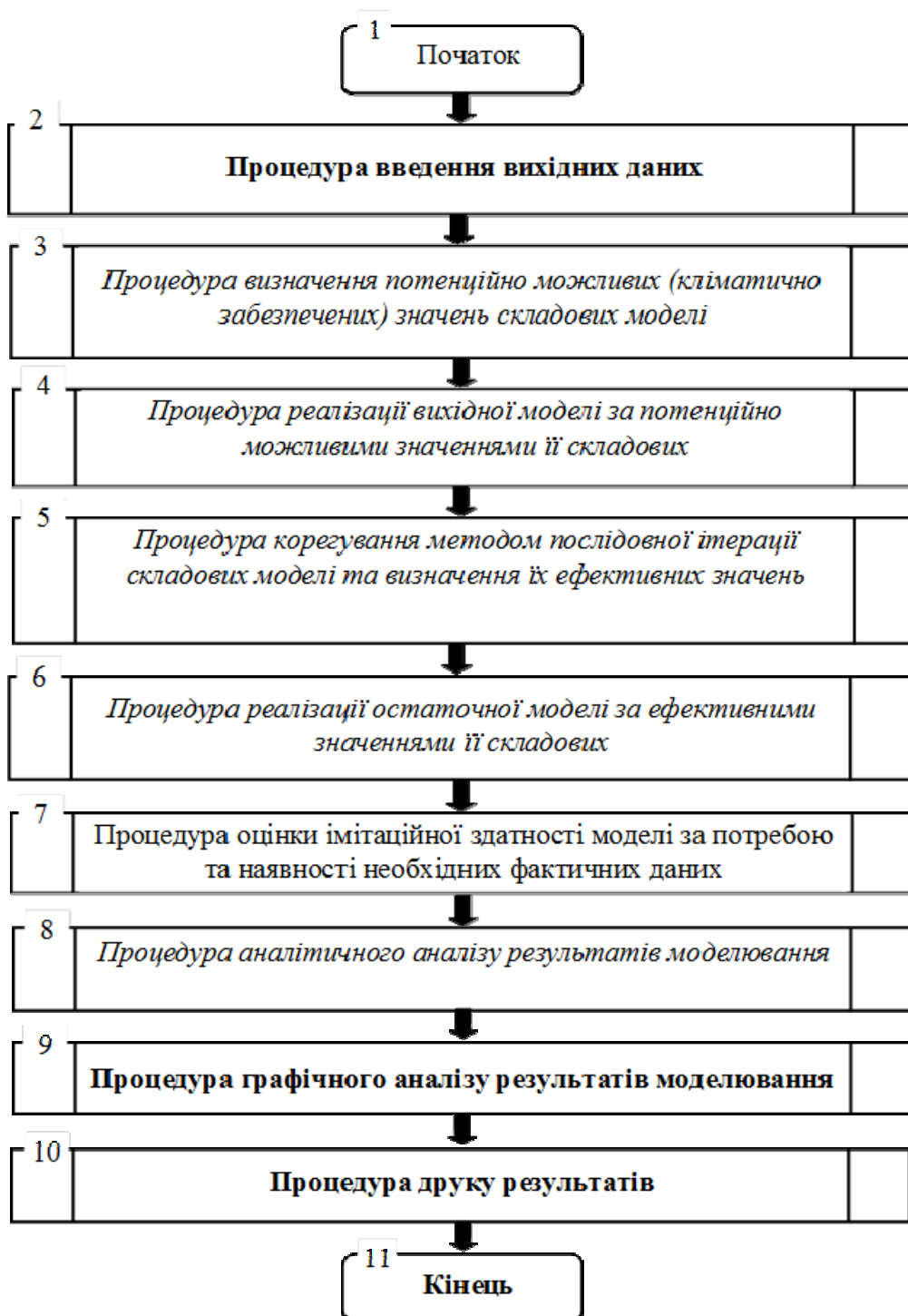


Рис. 5.6. Структурна блок-схема водного режиму і технологій водорегулювання осушуваних земель

при початковій умові:  $WPh_0 = WPh_g^0$  (де  $WPh_g^0$  - вихідний запас продуктивної вологи, що відповідає граничній польовій вологоємкості РШГ  $h$  відповідного виду ґрунту  $g$  в межах меліорованого поля);  $Vh_\tau = VVh_{s\tau}$ ;  $m_{s\tau} = 0$ .

Це цілком справедливо, оскільки водобалансові розрахунки починаються з початку квітня місяця будь-якого розрахункового періоду вегетації, коли вологозапаси осушуваного ґрунту знаходяться в оптимальних межах. При цьому за результатами розрахунків за вихідною моделлю (5.42) величина  $Wh_\tau$  може приймати будь-які значення (тобто  $0 \leq Wh_\tau \leq WPh_g^0$ ;  $Wh_\tau < 0$ ;  $Wh_\tau > WPh_g^0$ ), але тоді вона не завжди (у двох крайніх випадках) характеризує ефективні значення вологозапасів через порушення фізичного змісту дослі джуваного явища.

Тому на другому етапі (рис. 5.6, блок 5) здійснюється визначення ефективних значень складових рівняння (5.42) через відповідні коректуючи коефіцієнти методом послідовної ітерації (тобто відповідної черговості наближення):

- $VVh_\tau \rightarrow VIh_\tau$ , коли на першому етапі отримуємо  $Wh_\tau > WPh_g^0$ ;
- $VVh_\tau \rightarrow VPh_\tau$  або визначаються значення  $m_{s\tau}$  при відповідному способі зволоження осушуваних земель, коли  $Wh_\tau < WPh_g^0$ , й, тим більш, коли  $Wh_\tau \leq 0$ ;

$Wh_\tau \rightarrow WPh_\tau$  стосовно середніх запасів вологи  $\overline{WPh}_\tau$  та акумулюючої ємкості  $(WPh_g^0 - \overline{WPh}_\tau) / WPh_g^0$  РШГ в межах розрахункового терміну часу  $\Delta \tau$ .

Застосування такого підходу фактично не є новим в практиці виконання водобалансових розрахунків на меліорованих землях. Але при цьому, як правило, він використовувався для коректування потенційно можливих значень окремих складових рівняння визначення дефіциту вологості повітря: або сумарного випаровування  $EP_\tau$ , або підживлення РШГ з нижчерозташованих шарів та РГВ  $VVh_\tau$  – і практично не стосувався визначення величини ефективних вологозапасів ґрунту  $WPh_\tau$ .

Нами ж цей підхід розвинений і застосовується для визначення дійсно можливих (ефективних) значень усіх складових рівняння (5.42) і, в першу чергу, для визначення ефективної величини продуктивних вологозапасів РШГ, що дозволяє спрогнозувати та адекватно оцінити водний режим осушуваних земель за різних природно-меліоративних умов.

Отже на третьому, заключному етапі (рис. 5.6, блок 6) розглядається та реалізується така остаточна модель водного режиму

$$WPh_{\tau} = WPh_{\tau-1} + P_{\tau} - EP_{\tau} + VPh_{\tau} + m_{\tau}, \tau = \overline{1, n_{\tau}} \quad (5.43)$$

при обов'язковому дотриманні вимоги, що за будь-яких поточних природно-меліоративних умов буде отримано

$$0 \leq WPh_{\tau} \leq WPh_g^0. \quad (5.44)$$

Таким чином досягається більш точний розв'язок балансового рівняння, покладеного в основу моделі, що не порушує фізичний зміст складного явища, яким є водний режим осушуваних земель і природно-меліоративні фактори, що його зумовлюють.

Інші блоки в структурі реалізації моделі (рис. 5.6, блоки 7-11) включають в себе набір стандартних процедур з ідентифікації моделі, аналітичного і графічного аналізу результатів моделювання тощо.

Крім того, нами внесені необхідні зміни і доповнення у методи визначення потенційно можливих й ефективних величин основних складових моделі за режимними та технологічними параметрами водорегулювання осушуваних земель, що розглянуті нижче.

## 5.5. Модель водного режиму в умовах розвинутого рельєфу місцевості

### 5.5.1. Модель прогнозу водного режиму осушуваних земель з урахуванням розвиненості рельєфу місцевості

Проекти будівництва й реконструкції меліоративних об'єктів повинні передбачати безпосередній вплив меліоративної діяльності на всі аспекти від її реалізації. Розв'язання такої складної міждисциплінарної проблеми можливе тільки завдяки здійсненню на практиці прийнятої сучасної концепції розвитку меліорацій взагалі, яка ґрунтується на оптимізації меліоративних режимів сільськогосподарських угідь, а також технологічних та конструктивних рішень з їхнього забезпечення (І.П. Айдаров, О.І. Голованов, Ю.М. Никольський, 1990; В.Є. Алексєєвський та ін., 1993-1996; П.І. Коваленко, 1992-2000; М.І. Ромащенко, 1998-2000; О.В.Скрипник, 1992-1998; Б.Б.Шумаков, 1996; А.В. Яцик, 1998-2000).

А тому кардинальне розв'язання такої проблеми неможливе без більш загального, порівняно з традиційним, підходу до обґрунтування направленості, складу та оцінки ефективності меліоративних об'єктів взагалі. При проектуванні меліоративних систем надзвичайно важливо правильно визначити їх параметри та параметри складових технічних елементів систем (регулюючої мережі, провідної мережі, регулюючих гідротехнічних споруд). Проте на параметри меліоративних систем, параметри складових технічних елементів систем та кількість і розташування регулюючих гідротехнічних споруд і ефективність їх роботи разом з іншими чинниками впливає складність формування рельєфу, що, в свою чергу, впливає на вартість системи та її загальну еколого-економічну ефективність.

Практика показала, що неврахування достатньою мірою нерівномірності рельєфу в існуючих методах проектування і розрахунку

меліоративних систем є однією з причин недосягнення проектної ефективності меліорацій. За нормативом (ДБН В.2.4-1-99. Меліоративні системи та споруди) додаткове зволоження (попереджувальне і зволожувальне шлюзування) застосовується в ґрунтах з коефіцієнтом фільтрації більше 0,5 м/добу при ухилах поверхні до 0,005.

Але на території з розвинутим рельєфом заданий рівень ґрунтових вод підтримується лише на незначній частині меліорованого масиву. В пониженнях місцевості може мати місце вихід ґрунтових вод на денну поверхню, а на підвищеннях глибина залягання ґрунтових вод значно перевищує норму осушення. Такі умови формування рельєфу вимагають проектування додаткових гідротехнічних споруд, які, в свою чергу, збільшують вартість меліоративної системи, але не завжди дають змогу досягти поставленої мети щодо належного рівня ефективного вододорегулювання на всій площі системи.

Аналіз існуючих об'єктів показав, що вже при похилі 0,002 не досягається необхідний рівень вологозабезпеченості сільськогосподарських культур при застосуванні попереджувального та зволожувального шлюзування на значній частині осушуваних земель, що, в свою чергу, впливає на зниження врожаю та загальну ефективність меліорацій.

Як відомо, геологічна будова виявляє значний вплив на водний режим території. Найбільш заболочені великі впадини і пониження земної поверхні, складені потужною товщею осадових порід, в які стікають поверхневі та підземні води з прилеглих височин. Ці води є додатковими до атмосферних опадів джерелами надлишкового зволоження. Геологічні умови визначають рельєф місцевості, ступінь його розчленованості та природної дренажності території, а також гідрогеологічні умови.

Рельєф місцевості також істотно впливає на заболоченість ґрунту. Його прояви особливо доступні візуальним спостереженням. У зоні (регіоні) надлишкового зволоження менше заболочені підвищені елементи рельєфу (водорозділи, круті схили), з яких атмосферні опади стікають у вигляді поверхневого стоку, перезволожуючи, тим самим, нижче розташовану територію. Найбільш заболочені безстічні, слабо-проточні пониження та безпохилі рівнини, на яких застоюються поверхневі води, особливо при недостатній природній дренажності території.

Природна дренажність характеризується густиною річної мережі, її глибиною, похилами поверхні землі, водопроникністю ґрунтів та порід, що її підстиляють. Заболоченість території тим менша, чим більша густина річної мережі, чим глибші річки і ручаї, чим більш проникні ґрунти. Істотний вплив виявляє і похил поверхні землі: чим він менший, тим більша її частина зазнає перезволоження і заболочення.

Літологічні умови характеризують будову ґрунтів і порід, що їх підстиляють, які впливають на формування надлишкової вологи. Добре проникні ґрунти (піски, супіски) рідко бувають надлишково зволоженими, оскільки атмосферні опади швидко в них всмоктуються і не перезволожують



грунт. Проте на важких ґрунтах (глина, суглинки), особливо при несприятливих умовах для поверхневого стоку, вода застоюється і тривалий період ґрунт перезволожений. При неоднорідній літологічній будові, коли добре проникні ґрунти перешаровуються з погано проникними, на останніх, як на водоупорах, вода на тривалий період застоюється, формуючи безстічну верховодку. На болотах надлишкова зволоженість і характер її формування залежать від будови ложа болота (пологе або круте), прилеглих схилів, що виливає на інтенсивність водно-мінерального живлення болотних вод.

Гідрогеологічні умови характеризують перезволоженість ґрунту за ознакою залягання рівня ґрунтових вод над водоупором, який формується за рахунок поглинутих атмосферних опадів.

Сучасний стан і перспективи розвитку осушувальних меліорацій в зоні надмірного зволоження України переконливо свідчать про те, що проблема екологізації меліоративного виробництва, перш за все, тісно пов'язана з проблемою оптимізації меліоративного режиму осушуваних земель, в тому числі, і з урахуванням рельєфу місцевості, оскільки саме він в кінцевому підсумку може визначати загальний еколого-економічний ефект від реалізації меліоративних заходів на осушуваних землях з розвиненим рельєфом.

Основним завданням меліоративних заходів у західних областях України було пониження рівнів ґрунтових вод з метою найповнішого регулювання водного режиму території. На підставі існуючої практики експлуатації осушувальних систем, рівневий режим ґрунтових вод є результируючим кількісним вираженням чинників, які обумовлюють формування гідрогеолого-меліоративної обстановки. Теоретичні і методичні основи вивчення режиму ґрунтових вод викладені в працях М.Е.Альтовського, Е.А.Зальцберга, Б.С.Маслова, М.Ф.Козлова та ін.

У розвиток досліджень, започаткованих в Україні для зони надмірного та нестійкого зволоження кафедрою гідромеліорацій НУВГП, були розроблені наукові принципи, методи і моделі оптимізації технічних і технологічних рішень з водорегулювання осушуваних земель при будівництві, реконструкції та експлуатації меліоративних об'єктів, які ефективно працюють при малих ухилах рельєфу місцевості до 0,0005.

Тому в розвиток існуючих підходів необхідно розробити, в першу чергу, модель оптимізації типу та конструкції осушувальної системи та модель водного режиму і технологій водорегулювання осушуваних земель з урахуванням рельєфу місцевості, що матимуть певні відмінності від вже існуючих методик. На стадії проектування потрібно виконувати оцінку нерівномірності рельєфу осушуваних масивів, яка, в свою чергу, впливає на формування нерівномірності водного режиму осушуваних земель. На основі особливостей формування водного режиму слід диференційовано визначати площі осушуваного масиву, на яких меліоративна система буде працювати в режимі осушення, попереджувального шлюзування чи підґрунтового зволоження й відповідно формувати різний водний режим.

Якщо в існуючій методиці розглядається зміна балансу продуктивних запасів води в розрахунковому шарі ґрунту і ґрунтові води виступають як фон, то в моделі водного режиму з урахуванням рельєфу місцевості необхідно розраховувати баланс продуктивних запасів води з урахуванням можливості виникнення поверхневого стоку та балансу ґрунтових вод, який змінюється при різних технологіях водорегулювання.

Таким чином, виходячи з викладеного та прийнятої за основу розрахункової схеми, модель прогнозової оцінки на довготерміновій основі водного режиму меліорованого поля на осушуваних землях ґрунтується на реалізації системи рівнянь: «простого» рівняння водного балансу найбільш активного кореневмісного шару ґрунту  $h=0,5$  м з урахуванням поверхневого стоку при появі ухилу поверхні та рівняння балансу рівня ґрунтових вод. Порівняльні розрахункові схеми водного балансу РШГ для безпохилого рельєфу ( $i=0$ ) та похилого рельєфу місцевості ( $i \neq 0$ ) наведені на рис. 5.7.

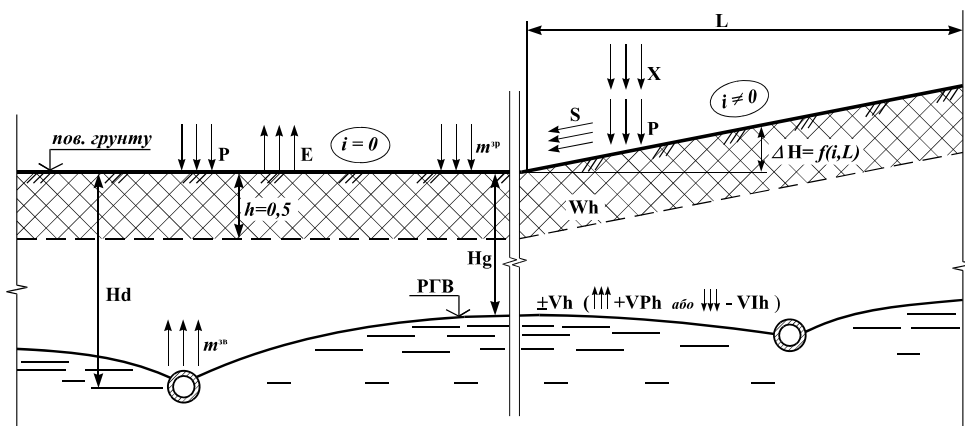


Рис. 5.7. Порівняльні розрахункові схеми моделі водного режиму осушуваних земель безпохилого рельєфу та з урахуванням нерівномірності рельєфу

За аналогією з розглянутою базовою моделлю (5.41) для прийнятої структури розрахунків і заданого кроку дискретизації  $\tau$ ,  $\tau = l, n_\tau$  (пентада, тиждень, декада – відповідно до реалізації моделі метеорологічних режимів) означена модель має такий загальний вигляд:

$$\begin{cases} Wh_\tau = Wh_{\tau-1} + P_\tau - E_\tau \pm Vh_\tau + m_\tau, & \tau = l, n_\tau, \text{ м}^3/\text{га}, \\ Hg_\tau = Hg_{\tau-1} \pm \Delta Hg, & \tau = l, n_\tau, \text{ м} \end{cases} \quad (5.45)$$

де

$$Hg_\tau = f(Hd, \pm \Delta Hg_\tau), \text{ м}; \quad (5.46)$$

$$\Delta Hg = f(\pm Vh_\tau); \quad (5.47)$$

$$\pm Vh_{\tau} = f(Hg, \Delta H, EV, P); \quad (5.48)$$

$$\Delta H = f(i, L), \quad (5.49)$$

де згідно моделі (5.41)  $Wh_{\tau}$ ,  $Wh_{\tau-l}$  - відповідні запаси продуктивної вологи РШГ на кінець розрахункових поточного  $\tau$  і попереднього  $(\tau - l)$  інтервалів часу при заданому початковому значенні  $Wh_0$ ;  $P_{\tau}$  - ефективні опади за час  $\tau$ ;  $E_{\tau}$  - відповідна величина сумарного випаровування;  $Vh_{\tau}$  - величина вологообміну РШГ  $h$  з нижчерозташованими шарами й РГВ у вигляді живлення (+)  $VVh_{\tau}$  або інфільтрації (-)  $VIh_{\tau}$ ;  $m_{\tau}$  - поливна норма при відповідному способі зволоження;  $Hg$  - глибина залягання ґрунтових вод;  $\Delta Hg$  - зміна рівня ґрунтових вод;  $\Delta H$  - зміна висотної характеристики рельєфу;  $i$  - ухил поверхні;  $L$  - довжина типової ділянки ґрунту.

Як було сказано вище, при появі ухилу поверхні може виникати поверхневий стік, який корегує величину опадів. Тому враховуючи що, модель водного режиму (5.45) у вигляді системи рівнянь за аналогією з базовою моделлю описує квазістаціонарний процес, то величина ефективних опадів може бути визначена за виразом

$$P_{\tau} = X_{\tau} - S_{\tau}, \quad (5.50)$$

де  $X_{\tau}$  - величина опадів за час  $\tau$ ;

$S_{\tau}$  - поверхневий стік за час  $\tau$ , який визначається за аналогією з формулою А.М. Янголя як:

$$S_{\tau} = X'_{\tau} \cdot k_s, \quad (5.51)$$

де  $X'$  - частина опадів  $X_{\tau}$  за час  $\tau$ , яка перевищує акумулюючу здатність РШГ і може утворити поверхневий стік  $S_{\tau}$  та призвести до виникнення інфільтрації  $Ih_{\tau}$ :

$$X'_{\tau} = X_{\tau} - P'_{\tau}, \quad (5.52)$$

де  $P'$  - кількість опадів, яка може бути використана для підвищення вологозапасів ґрунту до рівня  $WPh^0$ :

$$P'_{\tau} = WPh^0 - WPh_{\tau-l}, \quad (5.53)$$

$WPh^0$  - запас продуктивної вологи, що відповідає граничній польовій вологоємкості РШГ;

$WPh_{\tau-l}$  - запас продуктивної вологи РШГ на початок розрахункового  $(\tau - l)$  інтервалу часу;

$k_s$  - коефіцієнт поверхневого стоку.

Коефіцієнт поверхневого стоку ( $k_s$ ) визначається за емпіричною формулою, виведеною нами на основі даних досліджень А.М. Костякова та

інших авторів, які розглядають залежність утворення поверхневого стоку на меліорованих територіях у залежності від двох визначальних факторів: водопроникності ґрунту, що характеризується коефіцієнтом фільтрації ( $k_\phi$ ), та ухилом поверхні ґрунту ( $i$ ), – що регламентуються ДБН В.2.4-1-99. «Меліоративні системи та споруди.»

$$k_s = \left( 1 - 0,07 \cdot \frac{k_\phi}{k_{\phi_0}} \right) \cdot i^{0,17 \left( 1 + \frac{k_\phi}{k_{\phi_0}} \right)}, (R^2 = 0,96), \quad (5.54)$$

де  $k_{\phi_0}$  – оптимальний коефіцієнт фільтрації ґрунту за умовами водорегулювання,  $k_{\phi_0} = 1 \text{ м/добу}$ .

Що стосується моделі балансу ґрунтових вод, то зміна РГВ в межах розрахункового інтервалу часу стосовно  $Hg_{\tau-1}$  визначається ефективною складовою вологообміну РШГ за аналогічний період  $\pm Vh_\tau$ , яка відповідно визначається в структурі реалізації моделі водного балансу РШГ (5.41).

При цьому має місце два основні випадки:

- 1) у разі виникнення інфільтрації ( $Ih_\tau$ ) при перевищенні кількості опадів ( $X_\tau$ ) акумулюючої здатності РШГ, тобто  $X_\tau > WPh^0$ , відбувається підвищення РГВ на величину

$$+ \Delta Hg = 0,0001 \cdot Ih \cdot \mu^{-1}, \text{ м}, \quad (5.55)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт водонасичення ґрунту;

- 2) у разі спрацювання запасів ґрунтових вод за рахунок підживлення РШГ у посушливі періоди вегетації величиною  $VPh_\tau$  відбувається зниження РГВ на величину

$$- \Delta Hg = 0,0001 \cdot VPh \cdot \delta^{-1}, \text{ м}, \quad (5.56)$$

де  $\delta$  – коефіцієнт водовіддачі ґрунту.

Коефіцієнти водонасичення ( $\mu$ ) та водовіддачі ( $\delta$ ) ґрунту визначаються дослідницьким шляхом за результатами інженерних вишукувань або приймаються за відповідними рекомендаціями.

Таким чином, розглянута модель водного режиму з урахуванням рельєфу місцевості дозволяють досить простим та ефективним способом розраховувати баланс продуктивних запасів вологи з урахуванням можливості виникнення поверхневого стоку та балансу ґрунтових вод, який змінюється при різних технологіях водорегулювання.

### **5.5.2. Оцінка меліоративної ефективності рельєфу осушуваних земель**

Характерною особливістю формування водного режиму осушуваних земель з розвиненим рельєфом є утворення поверхневого стоку, нерівномірний розподіл вологи та глибини залягання РГВ по системі, що

враховано в моделі довгострокового прогнозу водного режиму і технологій водорегулювання осушуваних земель.

За існуючою морфометричною класифікацією рельєф місцевості на осушуваних землях за розміром окремих форм у межах визначеного мезорельєфу можна представити поєднанням мікроформ та наноформ.

Основними лінійними показниками, що характеризують рельєф місцевості, виступають ухил поверхні землі ( $i$ ) та перепади поверхні землі: загальний ( $\Delta H_{gi}$ ), за ухилом ( $\Delta H_i$ ) та у локальних підвищеннях або пониженнях ( $\pm \Delta h_g$ ). На підставі аналізу, узагальнення та систематизації рельєфних умов проектів реальних об'єктів, розташованих в зоні достатнього та нестійкого зволоження України, виділено і пропонується розглядати основні чотири схеми формування рельєфу за ухилами та перепадами поверхні землі (рис. 5.8):

- 1)  $i \neq 0$ ,  $\Delta H_i \neq 0$ ,  $\Delta h_g \neq 0$  – наявність ухилів, перепадів за ухилами та локальних перепадів поверхні землі;
- 2)  $i \neq 0$ ,  $\Delta H_i \neq 0$ ,  $\Delta h_g = 0$  – наявність ухилів та перепадів за ухилами, відсутність локальних перепадів поверхні землі;
- 3)  $i = 0$ ,  $\Delta H_i = 0$ ,  $\Delta h_g \neq 0$  – відсутність ухилів та наявність локальних перепадів поверхні землі (локальні пониження або підвищення);
- 4)  $i = 0$ ,  $\Delta H_i = 0$ ,  $\Delta h_g = 0$  – відсутність ухилів та перепадів поверхні землі (базові умови).

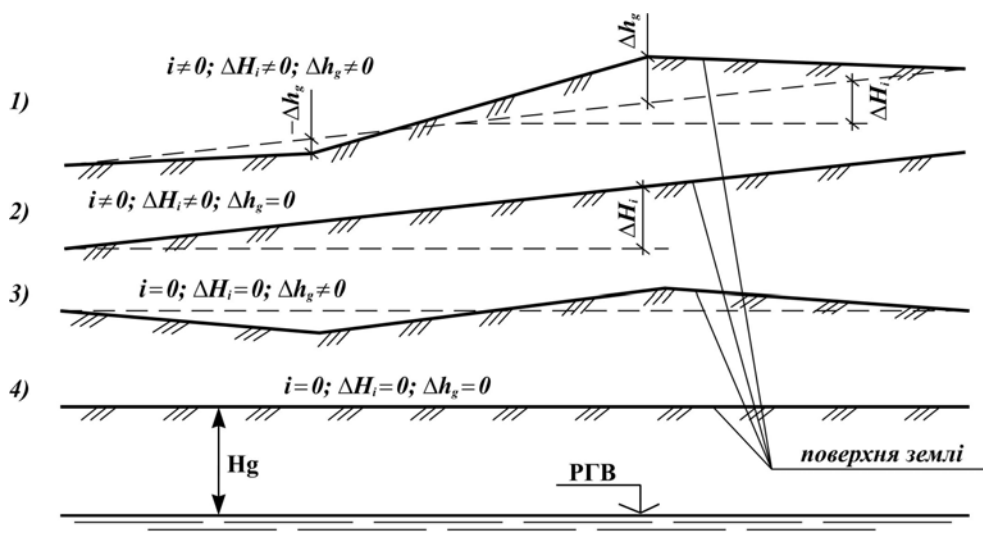


Рис. 5.8. Основні розрахункові схеми зміни рельєфу осушуваних земель

Схематизація рельєфних умов осушуваних земель дає змогу удосконалити існуючу модель довготермінованого прогнозу водного режиму

та технологій водорегулювання через врахування балансу ґрунтових вод з різним рівнем їх залягання у межах кожної виділеної рельєфної одиниці осушуваного масиву.

За результатами досліджень проведеного машинного експерименту встановлено, що характер впливу рельєфу місцевості на формування водного режиму та врожаю вирощуваних культур при різних технологіях водорегулювання має виражений оптимум, який диференційовано формується залежно від множинних природних та агромеліоративних умов реального об'єкта. При цьому, продуктивність меліорованих земель в умовах розвинутого рельєфу місцевості у порівнянні з рівнинним рельєфом може змінюватися в значних межах (до  $\pm 60\%$ ).

У зв'язку з цим, була виконана схематизація й розроблена класифікація осушуваних земель за показником **меліоративної ефективності рельєфу**, яка залежить від ступеня розвиненості рельєфу за ухилами та перепадами поверхні землі. Даний показник характеризує можливий рівень продуктивності меліорованих земель залежно від ступеня розвиненості рельєфу місцевості (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

Меліоративна ефективність рельєфу осушуваних земель

Ступінь розвиненості рельєфу	Кількісні показники рельєфу		Показник меліоративної ефективності	Меліоративна ефективність рельєфу
	$i$	$\Delta H_{gi}, \text{м}$		
Слабо розвинений	$< 0,001$	$< 0,2$	1,0...1,2	<b>Висока</b>
Середньо розвинений	0,001...0,004	0,2...0,6	0,8...1,0	<b>Середня</b>
Сильно розвинений	$> 0,004$	$> 0,6$	0,4...0,8	<b>Низька</b>

Уточнені значення меліоративної ефективності при певних природних та агромеліоративних умовах реального об'єкту можуть бути визначені за відповідними прогнозно-імітаційними розрахунками.

За загальноприйнятою практикою на стадії розробки проектних рішень щодо типів, конструкцій та параметрів дренажної системи виконується прокладання трас каналів і колекторів та побудова їх поздовжніх профілів, з яких можна отримати дані по ухилах та перепадах поверхні землі, в цілому по системи та її складових ієрархічних рівнях (на рівні меліорованого поля для культур проектної сівозміни, на рівні ґрунтів у межах системи, на рівні структурних елементів системи за характерними рельєфними умовами тощо).

На початковій стадії проектування нами пропонується виконувати попередній аналіз поверхні землі та визначати меліоративну ефективність осушуваних земель із застосуванням сучасних ВІМ-технологій. Програмний комплекс Autodesk Civil 3D дає змогу дослідити характер поверхні, визначити необхідні показники поверхні та їх значення (висоти, перепади, ухили, площі характерних ділянок), відобразити поверхню як за заданими,

так і за автоматично визначеними діапазонами подібних значень відміток та ухилів, а також сформувати у табличній формі відомість відміток, перепадів, ухилів та площ характерних ділянок.

Для визначення меліоративної ефективності рельєфу ділянки площею 330 га осушувальної системи «Іква» Дубенського району Рівненської області Західної України було побудовано модель рельєфу за даними топографічної зйомки, досліджено характер поверхні, визначено необхідні показники та їх значення: висоти, перепади, ухили, площі характерних ділянок (рис. 5.9, табл. 5.3).

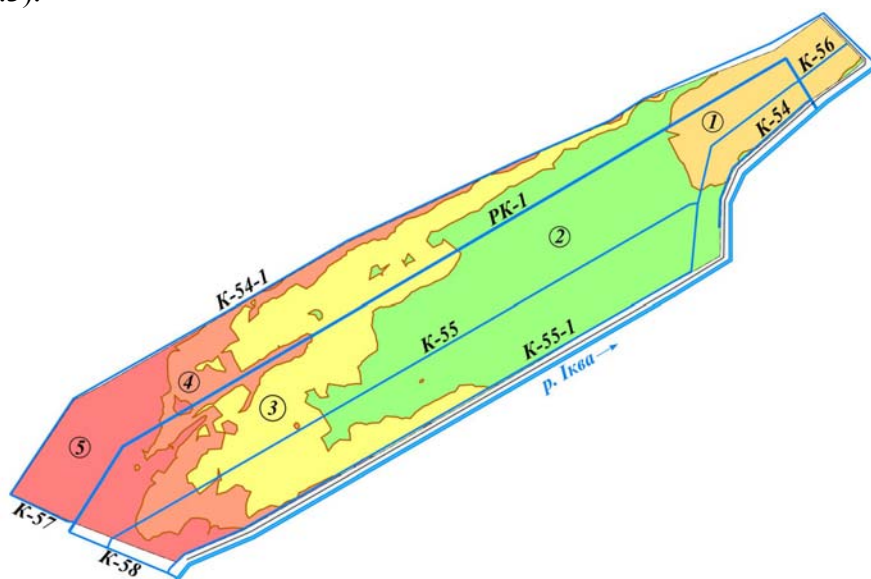


Рис. 5.9. Визначення ділянок із характерними рельєфними умовами дренажної системи «Іква»

Таблиця 5.3

Узагальнені результати оцінювання меліоративної ефективності рельєфу місцевості на дренажній системі «Іква»

№ ділянки	Кількісні показники рельєфу		Площа		Ступінь розвиненості рельєфу	Показник меліоративної ефективності	Меліоративна ефективність рельєфу
	Ухил, $i$	$\Delta H_{gi}$ , м	га	%			
По характерних ділянках рельєфу							
1	0,004	0,5	31,8	9,6	середньо розвин.	0,96	середня
2	0,001	0,2	143,2	43,4	слабо розвин.	1,02	висока
3	0,002	0,3	78,4	23,8	середньо розвин.	0,92	середня
4	0,003	0,4	35,7	10,8	середньо розвин.	0,87	середня
5	0,018	0,9	40,9	12,4	сильно розвин.	0,64	низька
В цілому по системі							
	0,004	0,34	330	100	середньо розвин.	0,93	середня

Виконаний аналіз рельєфу поверхні землі досліджуваної дренажної системи показав, що середньозважений ухил становить 0,004, а загальний

середньозважений перепад – 0,34 м. Таким чином, рельєф дренажної системи за ступенем розвиненості є середньо розвиненим, а меліоративна ефективність рельєфу – середня, показник якої може знаходитись у межах 0,8...1,0.

Визначені середньозважені ухили та перепад поверхні землі є вихідними даними для виконання розрахунків за моделлю довготермінового прогнозу водного режиму і технологій водорегулювання осушуваних земель з урахуванням рельєфу місцевості, яка ґрунтується на реалізації рівняння водного балансу активного кореневого шару ґрунту з урахуванням утворення поверхневого стоку та рівняння балансу рівня ґрунтових вод з урахуванням перепадів поверхні землі ( $\Delta H_{gi}$ ).

Даний підхід щодо оцінювання рельєфу місцевості за ухилами та перепадами поверхні землі також можна реалізувати за допомогою географічних інформаційних систем (ГІС), що дає змогу оцінити рельєф на макрорівні.

Використовуючи програмний продукт ArcGIS, нами було побудовано цифрові моделі рельєфу для зональних умов Рівненської області та Полісся України в цілому на основі даних радарної топографічної супутникової зйомки SRTM (Shuttle radar topographic mission) та виконано аналіз земної поверхні за ухилами (рис. 5.10, 5.11) і визначено їх площі (табл. 5.4).

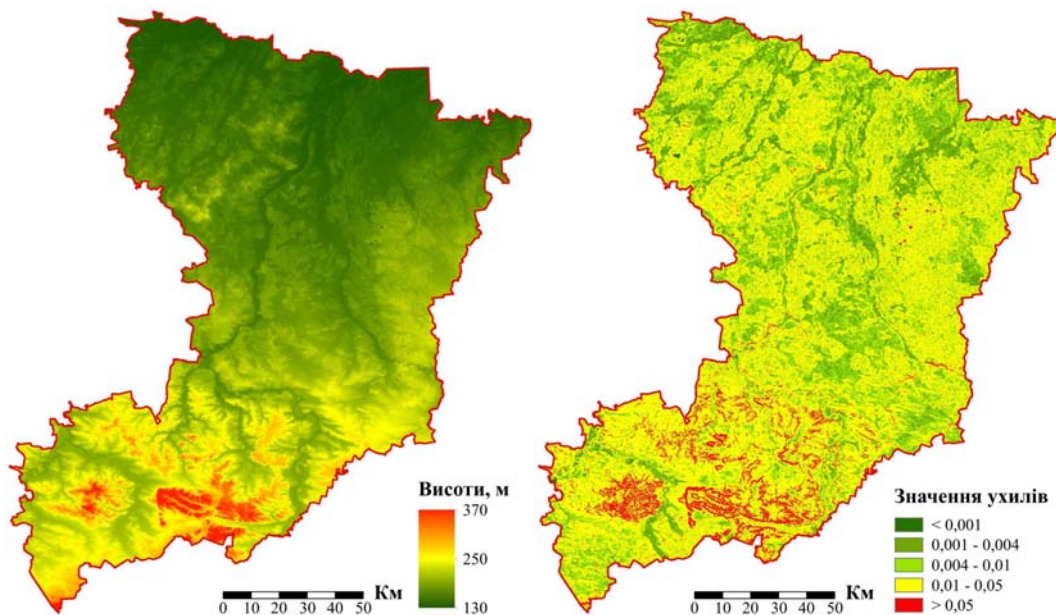


Рис. 5.10. Висотні відмітки та ухили земної поверхні Рівненської області



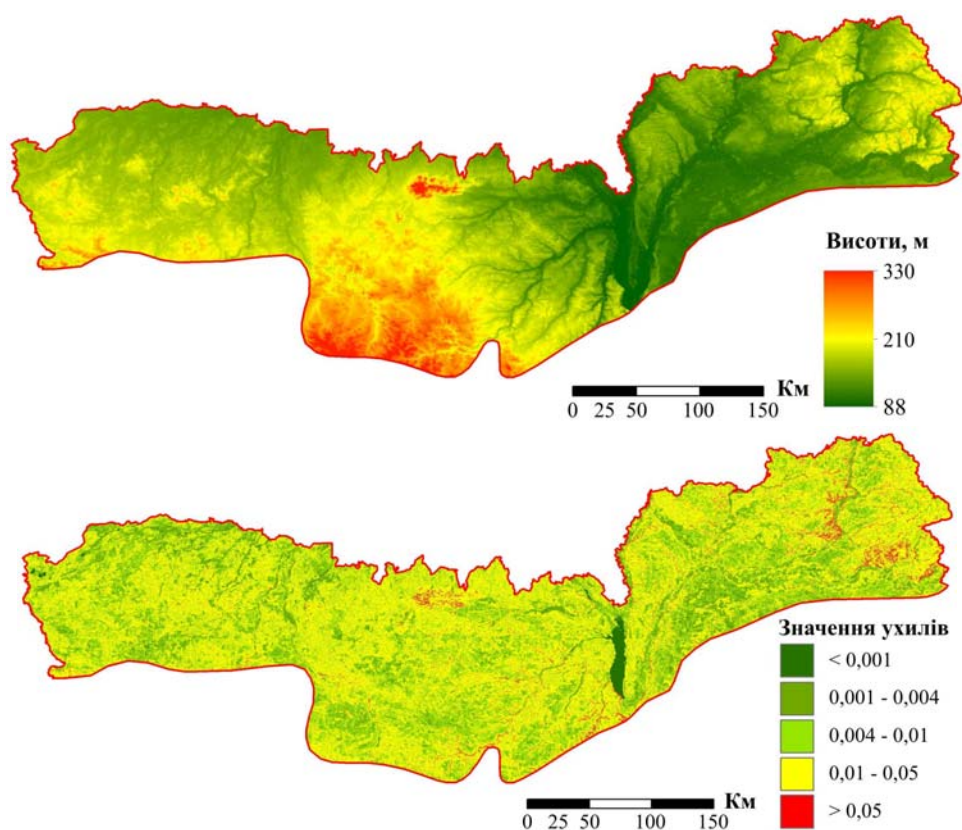


Рис. 5.11. Висотні відмітки та ухили земної поверхні Полісся України

Таблиця 5.4

Аналіз земної поверхні за ухилами досліджених об'єктів

№ з/п	Ухил, $i$	Площа		Ступінь розвиненості рельєфу	Меліоративна ефективність рельєфу
		км <sup>2</sup>	%		
За характерними ділянками рельєфу Рівненської області					
1	< 0,001	317	1,58	<i>слабо розвинений</i>	<i>висока</i>
2	0,001 – 0,004	2967	14,8	<i>середньо розвинений</i>	<i>середня</i>
3	0,004 – 0,01	5532	27,59	<i>сильно розвинений</i>	<i>низька</i>
4	0,01 – 0,05	10348	51,62	<i>сильно розвинений</i>	<i>низька</i>
5	> 0,05	883	4,41	<i>сильно розвинений</i>	<i>низька</i>
В цілому по Рівненській області за середньозваженими значеннями					
	0,027	20047	100	<i>сильно розвинений</i>	<i>низька</i>
За характерними ділянками рельєфу Полісся України					
1	< 0,001	2121	2,21	<i>слабо розвинений</i>	<i>висока</i>
2	0,001 – 0,004	15259	15,91	<i>середньо розвинений</i>	<i>середня</i>
3	0,004 – 0,01	29932	31,22	<i>сильно розвинений</i>	<i>низька</i>
4	0,01 – 0,05	46558	48,56	<i>сильно розвинений</i>	<i>низька</i>
5	> 0,05	2010	2,1	<i>сильно розвинений</i>	<i>низька</i>
В цілому по Полісся України за середньозваженими значеннями					
	0.022	95880	100	<i>сильно розвинений</i>	<i>низька</i>

За результатами аналізу висотних відміток рельєфу Полісся України встановлено, що абсолютно максимальні відмітки становлять 330 м, мінімальні – 88 м, перепади висот – 242 м. Для Рівненської області абсолютно максимальні відмітки становлять 370 м, мінімальні – 130 м, перепади висот – 240 м. Площа розповсюдження слабо та середньо розвиненого рельєфу для зони Полісся України становить 18,12 %, а для Рівненської області – 16,38 %, середньозважений ухил поверхні відповідно 0,022 (1,26°) та 0,027 (1,55°).

Рельєф досліджуваних зональних умов Рівненської області та Полісся України в цілому за крутизною земної поверхні відноситься до рівнинно-горбистого рельєфу. Але з меліоративної точки зору, а саме щодо дренажних систем з підґрунтовим зволоженням, які в умовах змін клімату є найбільш актуальними в зоні Полісся України, рельєф з наявними ухилами вже є сильно розвинений, а його меліоративна ефективність є низькою.

Наявність розвиненого рельєфу зумовлює неефективне використання опадів через виникнення поверхневого стоку та загрози ерозії ґрунтів, нерівномірне формування РГВ і водного режиму на осушуваних землях.

Слід зазначити, що точність висот загальнодоступної цифрової моделі рельєфу SRTM відповідає висотам, отриманих з топографічних карт масштабу 1:100000. При врахуванні систематичної помилки можливе підвищення точності даних високої і надвисокої роздільної здатності матриці SRTM, яка може бути використана при створенні карт масштабу 1:25000 та 1:10000 для районів з рівнинним і горбистим рельєфом.

Мікрорельєф за рахунок своїх розмірів нівелюється при створенні крупно-масштабних карт на основі цифрової моделі рельєфу SRTM. Тому, врахування мікрорельєфу в процесі проектування осушувальних систем можливе на основі проведення топографічної зйомки місцевості об'єкта будівництва, яка має відповідати таким вимогам: топографічний (інженерно-топографічний) план у масштабі 1:2000; перетин рельєфу 0,5 м для рівнинної місцевості, а для місцевості з мікрорельєфом – 0,25 м; нівелювання по квадратах 20х20 м.

Таким чином, вплив рельєфу місцевості на формування водного режиму та ефективність технологій водорегулювання на осушуваних землях можна оцінити на основі запропонованого показника меліоративної ефективності, який характеризує їх потенційну продуктивність залежно від ступеня його розвиненості за ухилами та перепадами поверхні землі. Застосування ВІМ-технологій дає змогу виконати аналіз поверхні землі та визначати меліоративну ефективність осушуваних земель на початковій стадії розробки проекту дренажної системи.

Врахування рельєфу місцевості в прогнозно-оптимізаційних моделях щодо вибору раціональних технологічних та конструктивних рішень з водорегулювання осушуваних земель дасть змогу підвищити обґрунтованість типу та конструкції дренажних систем у проектах їх будівництва та реконструкції

## 5.6. Модель продуктивності осушуваних земель

### 5.6.1. Модель ефективної проектної врожайності сільськогосподарських культур

Оскільки проект водогосподарсько-меліоративного об'єкта передбачає його функціонування в заданих границях кліматичних, агротехнічних, ґрунтових, меліоративних та інших умов, то під проектним рівнем урожайності слід розуміти середньозважену величину ефективної (дійсно можливої) врожайності вирощуваних культур, яка може бути отримана розрахунковим шляхом за довготерміновим прогнозом змінних у часі та просторі природно-агро-меліоративних умов у межах проектного терміну функціонування об'єкта.

Будь-яка метеоролого-економічна система дискретного типу в загальному випадку описується матрицею розмірністю  $n_i \times n_p$ . В свою чергу її елементи, у вигляді «функцій корисності»  $u_{ip} = u(I, P), i = \overline{1, n_i}; p = \overline{1, n_p}$ , характеризують значення економічного критерію  $U$ . Значення цього критерію відповідають всіляким парам  $(I, P)$ , коли прийняті проектні рішення сукупності  $I = \{i\}, i = \overline{1, n_i}$  реалізуються за певних типових схем метеорологічних умов сукупності  $P = \{p\}, p = \overline{1, n_p}$ .

Тому в загальному випадку модель довготермінового прогнозу ефективної проектної врожайності може бути представлена у вигляді

$$\bar{Y}_k = \sum_{\omega=1}^{n_{\omega}} \sum_{g=1}^{n_g} \sum_{p=1}^{n_p} Y_{k\omega gsp} \cdot f_{\omega} \cdot f_g \cdot \alpha_p, \text{ ц/га}, \quad (5.57)$$

де  $\bar{Y}_k$  – ефективна проектна врожайність  $k$ -ї культури за визначеною технологією водорегулювання;

$Y_{k\omega gsp}$  – розрахункова величина ефективної (дійсно можливої) врожайності  $k$ -ї культури, яка отримана у відповідних кліматичних  $\omega$ , ґрунтових  $g$ , меліоративних (технологія водорегулювання)  $s$  умовах та різних за умовами тепло- й вологозабезпеченості періодів вегетації  $p$ ;

$f_{\omega}, f_g$  – площі розповсюдження відповідно природно-кліматичних та ґрунтових відмін у межах об'єкту, виражені в дольових частках від загальної його території;

$\alpha_p$  – відомі (визначені або задані) значення повторюваності чи часток можливого стану типових схем метеорологічних режимів у розрахунку щодо умов тепло- й вологозабезпеченості періоди вегетації визначеної сукупності  $P = \{p\}, p = \overline{1, n_p}$  у межах проектного терміну функціонування

системи, приведеного до одиниці, тобто  $\sum_{p=1}^{n_p} \alpha_p = 1$ .

У випадку, коли має місце умова, що  $\omega = const$ ,  $g = const$ , вираз (5.57) набуває вигляду

$$\bar{Y}_k = \sum_{p=1}^{n_p} Y_{okgsp} \cdot \alpha_p, \text{ ц/га.} \quad (5.58)$$

### 5.6.2. Загальна модель ефективної врожайності на осушуваних землях

З урахуванням надзвичайно складного характеру процесу формування врожаю, зокрема на осушуваних землях, для стадії проекту реконструкції та нового будівництва меліоративних систем загальна модель ефективної врожайності сільськогосподарських культур може бути представлена у вигляді складної комплексної моделі мультиплікативного типу, представленої через добуток потенційно можливого її значення та функцій впливу на неї визначальних факторів

$$Y_{kogs p} = Y_{okp}^F \cdot \prod_{i=1}^{n_i} K_i = Y_{okp}^F \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \\ i = \overline{1, n_i}, \text{ ц/га,} \quad (5.59)$$

де  $Y_{okp}^F$  – кліматично забезпечена врожайність за період вегетації  $k$ -ї культури;

$K_1$  – коефіцієнт зниження врожайності за бонітетом ґрунту ( $0 \leq K_1 \leq 1$ );

$K_2$  – коефіцієнт збільшення врожайності за внесеними добривами, ( $K_2 \geq 1$ , але  $0 \leq K_1 \times K_2 \leq 1$ );

$K_3$  – коефіцієнт зниження врожайності при відхиленні строку посіву (відновлення вегетації) від оптимального ( $0 \leq K_3 \leq 1$ );

$K_4$  – коефіцієнт впливу поточних природно-меліоративних умов (клімату та технологій водорегулювання) періоду вегетації культури на формування врожайності ( $0 \leq K_4 \leq 1$ );

$K_5$  – коефіцієнт зниження врожайності при відхиленні строку збирання від оптимального ( $0 \leq K_5 \leq 1$ );

$K_6$  – коефіцієнт зменшення врожайності за рахунок втрат при збиранні та транспортуванні ( $0 \leq K_6 \leq 1$ ).

Представлена структура загальної моделі ефективної врожайності достатньою мірою відповідає суті процесів, що відбуваються на осушуваних землях. Реалізація моделі (5.59) здійснюється шляхом створення відповідного механізму, який може бути представлений у вигляді ієрархічної схеми послідовно виконуваних процедур з визначення розглянутих її складових (рис. 5.12).



Рис. 5.12. Ієрархічна схема необхідних процедур з визначення врожаю виробництва на осушуваних землях

Всі складові моделі (5.59) є змінними і залежать від багатьох факторів, головними з яких є природно-кліматичні, ґрунтово-меліоративні, агротехнічні й інші умови об'єкта, що представляються на стадії проекту у вигляді вихідних даних схематизованих природно-агро-меліоративних умов через сукупності відповідних показників: метеостанцій  $\Omega = \{\omega\}, \omega = \overline{I, n_\omega}$ ; видів ґрунтів  $G = \{g\}, g = \overline{I, n_g}$ ; видів вирощуваних культур  $K = \{k\}, k = \overline{I, n_k}$ ; способів водорегулювання осушуваних земель  $S = \{s\}, s = \overline{I, n_s}$ ; розрахункових періодів вегетації за метеорологічними умовами  $P = \{p\}, p = \overline{I, n_p}$ .

Таким чином, визначення необхідних значень складових загальної моделі врожайності можливе тільки на базі вирішення складного та багатопараметричного завдання шляхом застосування методів математичного моделювання з використанням комп'ютерної техніки. Такий підхід ґрунтується на створенні комплексу ієрархічно зв'язаних імітаційних субмоделей з довготермінового прогнозу метеорологічних режимів розрахункових щодо умов тепло- й вологозабезпеченості періодів вегетації, водного режиму і технологій водорегулювання осушуваних земель у змінних схематизованих природно-агро-меліоративних умовах, складових врожайності вирощуваних сільськогосподарських культур.

### **5.6.3. Модель потенційно можливої врожайності**

При визначенні умов формування реальної продуктивності осушуваних земель за довготерміновим прогнозом визначальною складовою є потенційна врожайність вирощуваних культур. Її визначення за різних природно-агро-меліоративних умов щодо продуктивності вирощуваних культур є необхідною умовою розрахунку її ефективного значення, оскільки вона враховує фактори, що здійснюють визначальний вплив на біомасу рослин впродовж їхньої вегетації.

Розробка моделі потенційної врожайності зумовлена необхідністю здійснити оцінку врожайності сільськогосподарських культур, яку можна отримати в конкретних ґрунтово-метеорологічних умовах реального об'єкта з урахуванням агротехнічних та технологічних заходів, що проводяться на осушуваних землях.

Відповідно до структури побудови загальної моделі виду (5.59), модель потенційно можливої врожайності може бути побудована аналогічним чином і містить у собі субмоделі кліматично- та агротехнічно забезпеченої врожайності.

### **5.6.4. Визначення кліматично забезпеченої врожайності**

В прийнятій структурі моделі з визначення ефективної врожайності сільськогосподарських культур на довготерміновій основі ефективна

величина врожайності визначається вихідним потенційним (кліматично й агротехнічно обґрунтованим) її значенням. Кліматично забезпечена врожайність відповідно визначає максимально можливий рівень урожайності в конкретних природно-кліматичних умовах регіону, де розташований об'єкт, і характеризується, перш за все, кліматичними умовами періоду вегетації культури. Основною з них є прихід фотосинтетичноактивної радіації (ФАР) та рівень її використання рослинами, що традиційно визначається відповідним значенням коефіцієнту корисної дії (ККД).

Величина кліматично забезпеченої врожайності  $Y_{окр}^F$  може бути визначена за математичною моделлю в структурі загальноприйнятого методу програмування врожайності

$$Y_{окр}^F = 10^4 \cdot \eta_k \cdot a_k \cdot \frac{Q_{кр}}{q_k}, \quad p = \overline{1, n_p}, \text{ ц/га}, \quad (5.60)$$

де  $10^4$  – перевідний коефіцієнт;

$\eta_k$  – коефіцієнт корисної дії фотосинтетичноактивної радіації (ККД ФАР) культури за наявних метеорологічних умов, %;

$a_k$  – коефіцієнт господарської ефективності врожаю;

$Q_{кр}$  – сумарний за період вегетації прихід ФАР, кДж/см<sup>2</sup>;

$q_k$  – калорійність врожаю, кДж/кг.

Оскільки у виразі (5.60) змінною величиною є характерні (розрахункові) щодо умов тепло й вологозабезпеченості періоди вегетації сукупності  $\{P\}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$ , то для його розв'язку необхідно:

**1.** Мати узагальнену характеристику метеорологічних режимів досліджуваного об'єкту у вигляді типового розподілу основних метеофакторів (опадів, температури, дефіциту вологості повітря) в розрахункові щодо вологозабезпеченості періоди вегетації.

У спрощеному вигляді розподіл середньовеgetаційних норм основних метеофакторів за розрахункові проміжки часу (в декадному перерізі) протягом розрахункового періоду вегетації може бути визначений за виразом

$$\vec{x}_{fp} = a_{1fp} + a_{2fp} \cdot U_1 + a_{3fp} \cdot U_2 + a_{4fp} \cdot U_3 + a_{5fp} \cdot U_4, \\ f = \overline{1, n_f}, \quad p = \overline{1, n_p}, \quad (5.61)$$

де  $\vec{x}_{fp}$  – вектор розподілу середньовеgetаційних норм метеофакторів;

$a_1 \dots a_5$  – коефіцієнти кривих Фур'є 2-го порядку;

$U_1 = \cos C \cdot \tau; U_2 = \sin C \cdot \tau; U_3 = \cos 2C \cdot \tau; U_4 = \sin 2C \cdot \tau;$

$\tau$  – фактична кількість одиниць часу до даного моменту, починаючи від довільно обраного стартового циклу (порядковий номер розрахункового інтервалу часу).

2. Визначити терміни тривалості вегетації для сільськогосподарських культур у розрахункові періоди. Для цього може бути застосована модель розвитку культур, яка у загальному вигляді представлена через чергування відповідних фаз  $\varphi_m, m = \overline{1, n_\varphi}$  сукупності  $\{\varphi\}, \varphi = \overline{1, n_\varphi}$

$$\varphi_m = \varphi_0 + \left( \sum_{\varphi=1}^{m-1} \eta_\varphi + \eta_m \right), \quad m = \overline{1, n_\varphi}, \quad (5.62)$$

де  $\varphi_0$  – початкова фаза, що відповідає терміну сівби (відновлення вегетації) культури ( $\varphi_0 = \tau_k$ );

$\eta_\varphi(\eta_m)$  – тривалість окремих фенофаз, яка визначається за нормованими значеннями постійних сум позитивних температур повітря для проходження певною культурою відповідних міжфазних періодів.

При цьому термін початку вегетації  $\tau_k$  в межах загального розрахункового періоду певної  $k$ -ї культури може бути визначений як

$$\tau_k = \tau_{\varphi_0 k} = f^{-1} \cdot (t_{\varphi_0 k}), \quad (5.63)$$

де  $t_{\varphi_0 k}$  – нормоване значення нижньої температурної межі початку розвитку ( $\varphi_k = \varphi_{0k}$ )  $k$ -ї культури (біологічний мінімум).

Відповідно термін закінчення вегетації  $\overline{\tau}_k$ , з урахуванням (5.63), визначається наступним чином

$$\overline{\tau}_k = \tau_k + \sum_{\varphi=1}^{n_\varphi} T_{\varphi k}. \quad (5.64)$$

Величина  $\tau_k$  може бути отримана з рівняння виду (5.64)  $\overline{x}_{fp\tau} = x_{fp}(\tau), f = \overline{1, n_f}; \quad p = \overline{1, n_p}; \tau = \overline{1, n_\tau}$  (залежно від наявності чи відсутності у споживача необхідної бази даних багаторічних спостережень) через визначення типового розподілу метеофакторів, що описує розподіл середньої температури повітря в розрахункові періоди вегетації  $\{T_{p\tau}\}, p = \overline{1, n_p}; \tau = \overline{1, n_\tau}$ .

3. Визначити сумарний вегетаційний прихід ФАР для  $k$ -ї культури у  $p$ -й розрахунковий період за емпіричною моделлю виду

$$Q_{kp} = (Q_{kp}^{III-VII} + Q_{kp}^{VIII-X}) \cdot K_p^I, \quad k = const, \quad p = \overline{1, n_p}, \quad \tau = \overline{\tau, \overline{\tau}}, \quad (5.65)$$

де  $Q_{kp}^{III-VII}$  та  $Q_{kp}^{VIII-X}$  – прихід ФАР за  $\tau$ -ту декаду відповідних періодів березень – липень та серпень – жовтень у межах  $p$ -го вегетаційного періоду  $k$ -ї культури, кДж/см<sup>2</sup>



$$\begin{cases} Q_{kp}^{III-VII} = 0,279 \cdot \bar{T}_{p\tau}^{III-VII} + 5,478, \tau = \overline{1, n_\tau}; \\ Q_{kp}^{VIII-X} = 0,441 \cdot \bar{T}_{p\tau}^{VIII-X} + 0,754, \tau = \overline{1, n_\tau}. \end{cases} \quad (5.66)$$

$\bar{T}_{p\tau}$  – середньодекадна температура повітря за  $\tau$ -у декаду  $p$ -го розрахункового періоду вегетації;

$K_p^I$  – поправочний коефіцієнт перерахунку за світлозабезпеченістю  $p$ -го розрахункового періоду вегетації

$$K_p^I = P / P_p, \quad (5.67)$$

де  $P$  – середньобогаторічна норма опадів за  $p$ -ий розрахунковий період вегетації;

$P_p$  – кількість опадів у  $p$ -й характерний за зволоженістю період вегетації.

З урахуванням рівня постановки завдання (стадія проекту), в моделі (5.60) з визначення кліматично забезпеченої врожайності за довготерміновим прогнозом ключовим параметром є ККД ФАР культури  $\eta_{kg}$ . За різними даними цей параметр змінюється від 1% до 10%, при цьому зміна його значень на 1% може призводити до зміни врожайності у декілька разів. Тому в заданих умовах вирішення завдання на стадії проекту слід орієнтуватись на потенційно можливі значення ККД ФАР  $\bar{\eta}_{kg}$  за аналогією зі структурою побудови загальної моделі ефективної врожайності (5.59).

Потенційні значення ККД ФАР можуть бути встановлені методом підбору за результатами проведення машинного експерименту на комп'ютері через порівняння потенційно можливих значень ККД ФАР  $\bar{\eta}_{kg}$  та відповідних відношень агротехнічно забезпеченої врожайності культури  $Y_{\omega kgr}^A$  до кліматично забезпеченої  $Y_{\omega kp}^F$ . Характер такого зв'язку добре узгоджується з експоненціальною кривою (рис. 1.2) і описується рівнянням загального виду  $y = a \cdot e^{-b \cdot x}$ , тобто

$$\beta_{AF}^Y = a \cdot e^{-b \cdot \bar{\eta}_{kg}}, \quad (5.68)$$

де  $\beta_{AF}^Y$  – відношення агротехнічно забезпеченої врожайності до кліматично забезпеченої у заданих умовах, тобто  $Y_{\omega kgr}^A / Y_{\omega kp}^F$ ;

$a$ ,  $b$  – емпіричні коефіцієнти, що змінюються залежно від конкретних природно-агро-меліоративних умов вирощування культури.

За наявності необхідних даних така крива може бути побудована для будь-яких районованих культур на осушуваних землях, що входять до проектних сівозмін, з урахуванням конкретних природно-агро-меліоративних

умов її вирощування. При цьому емпіричні коефіцієнти  $a$  і  $b$  прийматимуть відповідні диференційовані значення в кожному конкретному випадку.

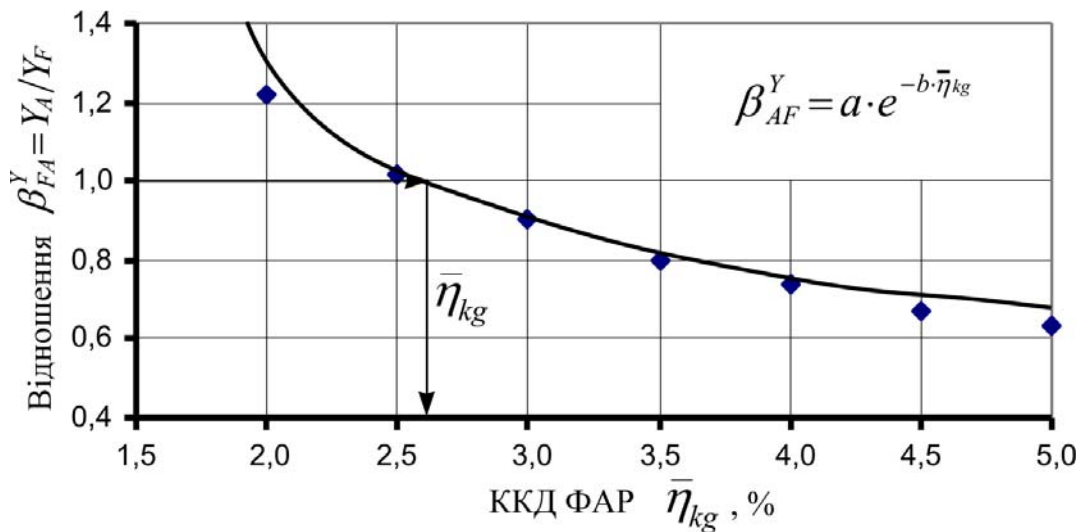


Рис. 5.13. Визначення  $\bar{\eta}_{kg}$  за результатами машинного експерименту

Наявність такої залежності зумовлює можливість визначення потенційного значення ККД ФАР  $\bar{\eta}_{kg}$  через розв'язок оберненої залежності (5.68) виду

$$\bar{\eta}_{kg} = f^{-1} \cdot (\beta_{AF}^Y), \quad (5.69)$$

за умови, коли значення відношення (див. рис. 5.13)  $\beta_{AF}^Y = 1$ .

Справедливість даного твердження ґрунтується на тому, що величина кліматично забезпеченої врожайності  $Y_{окр}^F$  є максимально можливою в конкретних природно-агро-меліоративних умовах, що відображено в структурі побудови загальної моделі (5.59) з прогносної оцінки на довготерміновій основі продуктивності осушуваних земель, і не може бути перевищена при застосуванні агротехнічних заходів, перш за все внесення добрив, а тому фактично є обмеженням для агротехнічно забезпеченої врожайності  $Y_{окр}^A$ . Тобто за будь-яких умов має бути дотримана вимога, що

$$Y_{окр}^A \leq Y_{окр}^F. \quad (5.70)$$

Таким чином, дана розрахункова методика з встановлення потенційних значень ККД ФАР в принципі дозволяє ефективно використовувати її при оцінці на довготерміновій основі продуктивності осушуваних земель у залежності від конкретних природно-агро-меліоративних умов реального об'єкту, але потребує для цього постановки та реалізації машинного експерименту на комп'ютері як обов'язкової умови.

### **5.6.5. Визначення врожайності за природною родючістю ґрунту**

За структурою побудови загальної моделі (5.59) значення потенційного кліматично забезпеченого врожаю у подальшому корегується за родючістю ґрунту, на якому відбувається ріст та розвиток сільськогосподарських культур і є одним з головних факторів, що лімітують їхню врожайність. Тому визначення її впливу є необхідною умовою в структурі проведення прогностно-імітаційних розрахунків з обґрунтування ефективної проектної врожайності на осушуваних землях.

Загальновизнаним показником родючості ґрунтів є бонітет ґрунту, виражений в балах. Він являє собою інтегральну величину різних властивостей ґрунту. Бал бонітету встановлюється за наявними методиками оцінки родючості ґрунтів, що враховує весь комплекс природних факторів родючості та технологічних властивостей.

На стадії проекту реконструкції та будівництва меліоративних систем урахування впливу родючості ґрунту на формування ефективної проектної врожайності здійснюється за коефіцієнтом  $K_I$ , який визначається залежністю

$$K_I = B_g / B_0, \quad (5.71)$$

де  $B_g$  – природний бонітет ґрунту (бали), приймається за даними інженерних вишукувань на передпроектній стадії по досліджуваному об'єкті;

$B_0$  – бонітет еталонного ґрунту,  $B_0 = 100$  балів.

У моделі (5.71) вплив бонітету ґрунту доцільно здійснювати на основі систематизованих В.С. Мошинським агровиробничих груп осушених гідроморфних ґрунтів, бонітет яких встановлювався на основі загальновідомої методики Р.С. Трускавецького.

### **5.6.6. Розрахунок агротехнічно забезпеченої врожайності**

Однією з найбільш визначальних характеристик, що здійснює вплив на розвиток рослин, є, безумовно, поживний режим. Його регулювання шляхом застосування добрив має бути спрямоване не тільки на отримання максимальної прибавки врожаю, але й на попередження можливого негативного впливу добрив на якість продукції і навколишнє природне середовище.

Інтенсивна система землеробства на осушуваних землях можлива тільки при систематичному внесенні добрив у необхідних нормах та співвідношеннях. Під дією добрив збільшується врожайність сільськогосподарських культур та покращується якість продукції.

Система добрив повинна забезпечити високу врожайність і, разом з тим, екологічну безпеку вирощування культур, необхідну якість продукції, високий економічний ефект від застосування добрив, збільшення родючості ґрунту, зведення до мінімуму втрат поживних речовин з добрив та ґрунту разом з інфільтраційними та дренажними водами.

На стадії проекту будівництва й реконструкції осушувальних систем у структурі побудови загальної моделі врожайності (5.59) зміна врожайності з

урахуванням внесених добрив як характеристика агротехнічно забезпеченого врожаю визначається за коефіцієнтом  $K_2$ , що може бути представлений як

$$K_2 = 1 + \Delta Y_{окгр}^A / Y_{окгр}^B, \quad (5.72)$$

де  $\Delta Y_{окгр}^A$  – прибавка врожаю за рахунок внесення добрив, ц/га.

Величина  $\Delta Y_{окгр}^A$  може бути визначена за моделлю, яка традиційно використовується в методах програмування врожаю

$$\Delta Y_{окгр}^A = \frac{(x_1 + x_2 + x_3) \cdot a_1}{100} + \frac{z \cdot a_2}{100} + A_p + C_p, \text{ ц/га}, \quad (5.73)$$

де  $x_1, x_2, x_3$  – відповідні норми мінеральних добрив (N,P,K), кг д. р. /га;

$z$  – норма органічних добрив, т/га;

$a_1$  – окупність 1 кг д. р. мінеральних добрив урожаєм, кг/га;

$a_2$  – окупність 1 т органічних добрив урожаєм, т/га;

$A_p$  – прибавка врожаю за рахунок агротехнічних ресурсів, ц/га;

$C_p$  – прибавка врожаю за рахунок сортових ресурсів, ц/га.

Для визначення оптимальних норм внесення добрив залежно від загальної ефективної родючості ґрунту пропонується апроксимована нормована крива з одним максимумом у вигляді складених тригонометричних функцій, що отримана за результатами опрацювання даних багаторічних експериментальних досліджень в зоні осушувальних меліорацій

$$y = \begin{cases} 0,485 - 0,385 \cdot \arctg(A - Bx), \bar{x} \leq x \leq x^0; \\ 0,485 + 0,385 \cdot \arctg(C - Dx), x^0 \leq x \leq \bar{x}, \end{cases} \quad (5.74)$$

у яких:

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{3,65 \cdot (0,9 \cdot x^0 + \bar{x})}{x^0 - \bar{x}}; B = \frac{7,3}{x^0 - \bar{x}}; \\ C &= \frac{3,9 \cdot (\bar{x} + 0,9 \cdot x^0)}{x - x^0}; D = \frac{7,3}{x - x^0}. \end{aligned} \right\} \quad (5.75)$$

У виразах (5.74), (5.75) використані такі позначення:  $y$  – нормована функція, що приймає значення в інтервалі  $[0,1]$ ;  $x$  – аргумент функції;  $A, B, C, D$  – коефіцієнти кривих;  $\bar{x}, x^0, \bar{x}$  – відповідно початок, екстремальна точка (де  $y=1$ ) і кінець області визначення аргументу.

Розрахунок оптимальних норм добрив здійснюється шляхом корегування рекомендованих їхніх норм на основі виразів (5.74) та (5.75) за системою рівнянь виду

$$\begin{cases} H_{онт} = H_{рек} \cdot (0,485 - 0,385 \cdot \arctg(2,92 - 0,18 \cdot B)); \\ H_{онт} = H_{рек} \cdot (0,485 + 0,385 \cdot \arctg(8,58 - 0,12 \cdot B)), \end{cases} \quad (5.76)$$

де  $H_{opt}$  – оптимальні відносно рівня родючості ґрунту норми добрив;  
 $H_{рек}$  – рекомендовані норми добрив;  
 $B$  – бонітет ґрунту.

При цьому значення коефіцієнтів  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  визначені для моделі (5.76), з урахуванням прийнятої гіпотетично умови, що на даному етапі розвитку сільськогосподарського виробництва на осушуваних землях найбільш ефективно використання рекомендованих норм добрив, з урахуванням еколого-економічних аспектів, відбувається при загальній ефективній родючості ґрунтів на рівні 40 балів (оціненої за стандартною 100 бальною шкалою).

Розглянутий підхід і розроблений метод розрахунку норм добрив в структурі довготермінового прогнозу продуктивності осушуваних земель дають змогу визначати оптимальні умови розвитку рослин щодо отримання проектного рівня врожайності вирощуваних сільськогосподарських культур (заданий економічний ефект) та мінімізувати негативні екологічні наслідки.

#### ***5.6.7. Корегування врожайності за строками сівби (відновлення вегетації) сільськогосподарських культур***

Встановлення оптимальних строків сівби (відновлення вегетації) сільськогосподарських культур є актуальним завданням при визначенні проектної продуктивності осушуваних земель на довготерміновій основі. На даний час це питання вивчено та розроблено недостатньо, оскільки існують розбіжності щодо впливу даного фактора на формування врожайності сільськогосподарських культур.

Оптимальні строки сівби обумовлюються видом сільськогосподарської культури та агрокліматичними особливостями району її вирощування. З агротехнічної точки зору вони наступають тоді, коли ґрунт досягає фізичної стиглості та прогрівається до потрібної температури. Також на оптимальні строки сівби впливають склад ґрунтового повітря, мікробіологічні фактори, які обумовлюють взаємодію між рослинами та мікроорганізмами, тощо.

Тому при розгляді моделі (5.59) загальної продуктивності осушуваних земель на стадії проекту будівництва й реконструкції меліоративних систем, коли режимно-технологічні та конструктивні параметри мають забезпечувати необхідні умови вирощування сільськогосподарських культур, приймаємо  $K_3 = 1$ .

#### ***5.6.8. Модель технологічно забезпеченої врожайності***

Розгляд технологічно забезпеченої врожайності, як складової загальної моделі (5.59), зумовлена необхідністю корегування потенційно можливої врожайності під впливом поточних природно-агро-меліоративних умов періоду вегетації та технологічних прийомів (насамперед метеорологічних умов, технології водорегулювання та строків й технології збирання сільськогосподарської продукції) на формування величини ефективної проектної врожайності.

З метою кращого представлення такої моделі доцільно розглядати окремо виробничі фактори впливу на формування сільськогосподарської продукції. Тут мається на увазі створення відповідних моделей з оцінки врожайності за поточними природно-агро-меліоративними умовами періоду вегетації та технологічними факторами (строк та якість збирання вирощених культур).

#### **5.6.9. Визначення врожайності за поточними природно-меліоративними умовами періоду вегетації**

Поточні природно-меліоративні умови періоду вегетації сільськогосподарських культур відіграють важливу роль і створення моделі їхнього впливу на формування врожайності займає чільне місце в структурі визначення технологічно забезпеченої врожайності (врожайності виробництва) на осушуваних землях. Модель ґрунтується на врахуванні, головним чином, водного та температурного режимів, які визначають рівень реалізації потенційно можливої (кліматично та агротехнічно забезпеченої) врожаю при формуванні технологічно забезпеченої врожайності за фактичними умовами тепло- й вологозабезпеченості посіву в межах розрахункового періоду вегетації.

В основу моделі прогнозної оцінки врожайності на осушуваних землях покладений найбільш поширений та апробований на практиці підхід оцінки зміни величини потенційно можливої врожайності  $Y^o$  певної  $k$ -ї культури до дійсно можливої (фактичної або ефективної)  $Y$ , яка зумовлена поточними умовами тепло- й вологозабезпеченості посіву протягом вегетації, через показник  $\beta$ . Тоді в загальній моделі (5.59)

$$K_4 = \vec{\beta}_\tau = \beta_\tau (\vec{\beta}_{\tau-1}, q_\tau, p_\tau, a_\tau^k, \tau), \quad \tau = \overline{1, T}, \quad (5.77)$$

де  $\vec{\beta}_\tau$  і  $\vec{\beta}_{\tau-1}$  – вектори стану рівня розвитку посіву відповідно на момент часу  $\tau$  та за попередній період  $(\tau - 1)$  при заданому  $\beta_0$ ;

$q_\tau, p_\tau, a_\tau^k$  – вектори відповідно некерованих (метеорологічні фактори) і керованих (способи водорегулювання) зовнішніх діянь та внутрішніх фізіологічних і генетичних параметрів культури на момент часу  $\tau$ .

Оскільки на меліорованих землях для рослинного організму в кожен фазу його розвитку  $\varphi, \varphi = \overline{1, n_\varphi}$  існує оптимальний рівень водоспоживання (транспіраційна складова сумарного випаровування), показник  $\beta$  може бути поданий відповідно як інтегральний показник рівня розвитку культури протягом вегетації через динаміку її водоспоживання у відносному вигляді за моделлю

$$\beta = \sum_{\varphi=1}^{n_\varphi} ET_\varphi / \sum_{\varphi=1}^{n_\varphi} ETV_\varphi, \quad (5.78)$$

де  $ET_{\varphi}$ ,  $ETV_{\varphi}$  – відповідно ефективне та потенційно можливе водоспоживання культури за  $\varphi$ -ту фазу її розвитку.

Складовою такої моделі врожайності є функція зниження продукційних процесів, що опосередковано може бути представлена через динаміку водоспоживання культур протягом періоду вегетації і дозволяє врахувати невідповідність реальних умов з тепло- й вологозабезпеченості посіву по відношенню до оптимальних.

Загальний вигляд такої функції та її складових аналогічний за побудовою до (5.74) та (5.75). Тому функція зниження водоспоживання та врожаю культур на осушуваних землях через невідповідність температурного  $\lambda_1(t)$  та водного  $\lambda_2(w)$  режимів протягом вегетації матиме вигляд

$$\lambda(t, w) = \lambda_1(t) \cdot \lambda_2(w). \quad (5.79)$$

Тоді, якщо ці функції представити у відповідних позначеннях, отримуємо:

а) для температурного режиму приземного шару повітря

$$\lambda_1(t) = \begin{cases} 0,485 - 0,385 \arctg \left[ \frac{3,65(0,9t^0 + \underline{t}) - 7,3t}{t^0 - \underline{t}} \right], & \underline{t} \leq t \leq t^0; \\ 0,485 + 0,385 \arctg \left[ \frac{3,65(\bar{t} + 0,9t^0) - 7,3t}{\bar{t} - t^0} \right], & t^0 \leq t \leq \bar{t}; \end{cases} \quad (5.80)$$

б) для водного режиму активного шару ґрунту

$$\lambda_2(w) = \begin{cases} 0,485 - 0,385 \arctg \left[ \frac{3,65(0,9w^0 + \underline{w}) - 7,3w}{w^0 - \underline{w}} \right], & \underline{w} \leq w \leq w^0; \\ 0,485 + 0,385 \arctg \left[ \frac{3,65(\bar{w} + 0,9w^0) - 7,3w}{\bar{w} - w^0} \right], & w^0 \leq w \leq \bar{w}, \end{cases} \quad (5.81)$$

де  $\underline{t}, t^0, \bar{t}$  – відповідно нижня, оптимальна й верхня температурна межа життєдіяльності даного виду (сорту) рослини;

$\underline{w}, w^0, \bar{w}$  – відповідно нижня, оптимальна й верхня межа вологозабезпеченості для даного виду (сорту) рослини;

$t, w$  – відповідно середні (в межах розрахункового кроку дискретизації моделі) значення температури повітря та вологості активного шару ґрунту в поточний момент часу періоду вегетації культури.

Наведені функції зниження водоспоживання культур залежно від відхилення поточних умов тепло- й вологозабезпеченості посіву за виразами (5.79)–(5.81) описують реалістичний характер цієї залежності, враховують постійну зміну вимог вирощуваних культур до умов тепло- й вологозабезпеченості посіву в онтогенезі та синергетичний ефект від їхньої сумісної дії на розвиток рослин.

Тому вони можуть бути задіяні з метою реалізації загальної моделі розвитку й формування врожаю культур на осушуваних землях за різних природно-меліоративних умов при виконанні їх прогнозової оцінки на довготерміновій основі. Але для їхньої реалізації потрібен відповідний комплекс прогнозно-імітаційних моделей, що описують зміну в часі схематизованих природно-меліоративних умов на осушуваних землях (клімат, водний режим тощо).

#### ***5.6.10. Корегування врожайності за строками збирання сільськогосподарських культур***

Строк збирання культури також відіграє дуже важливу роль у процесі отримання фактичних урожаїв виробництва вирощуваних культур. Відхилення від його оптимального значення в той чи інший бік може призвести до значних втрат сільськогосподарської продукції.

В практиці сільськогосподарського виробництва на меліорованих землях втрати врожаю від несвоєчасного збирання можна оцінити за експериментальними даними, приймаючи до уваги, що оптимальні строки збирання збігаються з накопиченням суми середньодобових ефективних температур повітря. Через це необхідне правильне визначення початку і тривалості збору врожаю культур, оскільки вони мають великий вплив на отримання величини зібраного врожаю.

В даному випадку, як і для коефіцієнта корегування врожаю за термінами сівби  $K_3$ , в розрахунках з визначення ефективної проектної врожайності в моделі (5.59) припустимо приймати  $K_5=1$ .

#### ***5.6.11. Корегування врожайності при збиранні та транспортуванні сільськогосподарської продукції***

Врожай, вирощений в полі, і врожай, який буде оплачений при здачі на зберігання чи переробку, дуже часто сильно різняться. Основною причиною цього є втрати, які мають місце при збиранні врожаю, що залежать від якості збирання, механізмів, які при цьому застосовуються, втрат при транспортуванні та втрат за рахунок зменшення об'ємної маси зібраного врожаю при зберіганні протягом деякого часу тощо.

Провідна роль у скороченні втрат і наближенні фактичного врожаю до вирощеного за конкретних ґрунтово-кліматичних умов року належить правильному вибору техніки, технології збирання та термінів його проведення.

Зазвичай визначити втрати врожаю сільськогосподарських культур можливо наближено шляхом аналізу та співвідношення зібраної маси та вирощеної продукції.

Тому на стадії проекту будівництва й реконструкції меліоративних систем у зоні достатнього та нестійкого зволоження, з урахуванням узагальнених наявних довідкових та фактичних даних, які наводяться у спеціальній літературі і отримані широким колом дослідників, можна в загальній моделі (5.59) приймати значення  $K_6 = 0,8...0,85$ .



## **5.7. Модель оптимізації параметрів дренажу та дренажних систем з урахуванням економічних та екологічних вимог**

### ***5.7.1. Підходи до побудови комплексної моделі оптимізації параметрів сільськогосподарського дренажу за множинними змінними природно-агро-меліоративними умовами об'єкта***

Разом з необхідністю підвищення економічної ефективності осушувальних меліорацій, сьогодні надзвичайно гостро стоїть проблема обґрунтованості меліоративних заходів за екологічними вимогами. Розв'язання такої складної міждисциплінарної проблеми можливе тільки завдяки здійсненню на практиці прийнятої сучасної концепції розвитку меліорацій взагалі, яка ґрунтується на оптимізації водного і загального природно-меліоративного режимів осушуваних земель через обґрунтування гідромеліоративних заходів на еколого-економічних засадах.

При цьому оптимізація параметрів дренажу є визначальною складовою природно-меліоративного режиму, що зумовлено необхідністю узгодження суперечливих потреб у водорегулюванні врожаю вирощуваних культур і створюваного екологічного ефекту.

Отже за результатами вище розглянутих передумов, що пов'язані з загальною постановкою і шляхами розв'язання проблеми оптимізації водного і загального природно-меліоративними режимами, а також за відповідними підходами до розв'язування оптимізаційних задач у складних природно-технічних системах.

Нами було розроблено принципи побудови й реалізації комплексної моделі оптимізації водорегулювання осушуваних земель, яка відповідає сучасним екологічним та економічним вимогам.

Дана модель працює на двох рівнях:

- на рівні меліорованого поля з вирощуваними сільськогосподарськими культурами та регулюючою мережею де отримується врожай і екологічний та економічний ефект з урахуванням складного комплексу природних, агротехнічних і меліоративних факторів для варіантів проектних рішень (ПР) за способами водорегулювання;
- на рівні системи в цілому, головною задачею якої є управління водним і загальним природно-меліоративним режимом за відповідними схемами водорегулювання.

З урахуванням положень системного аналізу методологічною основою розв'язання проблеми обґрунтування оптимальних параметрів сільськогосподарського дренажу осушуваних земель на еколого-економічних засадах є розгляд меліоративних систем як складних природно-технічних систем (ПТС) з більш точним урахуванням, перш за все, мінливих у часі і невизначених за своїм характером природно-кліматичних умов.

При цьому відомо, що визначальною складовою осушувальної системи є дренаж, як головний регулюючий елемент. У свою чергу, параметри дренажу визначально впливають на вартість осушувальної системи в цілому,

тому їх обґрунтування з урахуванням еколого-економічних аспектів є необхідною умовою при розробці проектів з водорегулювання на меліорованих землях.

У зв'язку з цим, побудова моделі оптимізації щодо конструктивних рішень по дренажу базується на системному підході як методологічній основі і включає в себе декомпозицію (розчленування) складних цілей і задач, притаманних таким системам, а також застосування методології низхідної ієрархії аналізу та висхідної ієрархії синтезу для досягнення окремих цілей і вирішення окремих завдань, що входять як складові до створюваного комплексу прогнозно-оптимізаційних моделей і методів їхньої реалізації.

У свою чергу, дренаж є основним технічним елементом гідромеліоративної системи (ГМС) і виконує функцію регулювання водного і загального природно-меліоративного режиму в межах системи, а його конструктивні параметри визначаються насамперед наявними ґрунтово-меліоративними умовами.

Елементами системи сільськогосподарського виробництва (ССВ) в межах меліоративної системи (МС) виступають природно-агротехнічні елементи – ґрунтово-меліоративна різниця та ґрунти, на яких вирощуються сільськогосподарські культури. Таким чином, ГМС разом з ССВ одночасно залежать і впливають на оточуюче середовище, створюючи загальну природно-меліоративну обстановку.

Тому, за аналогією з А.М. Рокочинським, та на відміну від оптимізаційного методу, застосованого В.Г. Мурановим та М.О. Лазарчуком, оптимальні параметри дренажу можуть бути визначені за комплексною моделлю оптимізації, побудованої з урахуванням кліматологічної стратегії управління об'єктом, яка дає змогу визначити економічно доцільні й екологічно прийнятні ПР за відповідними критеріями

$$\begin{cases} ZP_0 = \min_{\{i\}} \sum_{n=1}^{n_p} ZP_{ip} \cdot \alpha_p, i = \overline{1, n_i}; \\ q_0 = \min_{\{i\}} \sum_{n=1}^{n_p} |q_s - \hat{q}_{екол}| \cdot \alpha_p, i = \overline{1, n_i}, \end{cases} \quad (5.82)$$

де  $ZP_0$  – оптимальне значення критерію за  $i$ -м варіантом ПР сукупності  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$ , грн/га;

$\alpha_p$  – відомі (визначені або задані) значення повторюваності чи часток можливого стану типових метеорологічних режимів у розрахункові періоди вегетації сукупності  $\{p\}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$  в межах проектного терміну

функціонування об'єкта,  $\sum_{p=1}^{n_p} \alpha_p = 1$ ;

$q_0$  – оптимальне розрахункове значення модуля дренажного стоку за  $i$ -тим варіантом ПР,  $л/с \cdot га$ ;

$q_s$  – середньозважене значення модуля дренажного стоку в межах системи та проектного терміну функціонування об'єкта за  $i$ -тим варіантом ПР,  $л/с \cdot га$ ;  $\hat{q}_{\hat{a}\hat{e}\hat{r}\hat{e}}$  – граничне значення модуля дренажного стоку, що відповідає екологічному рівню ефективності роботи дренажу в досліджуваних умовах,  $л/с \cdot га$ ;

$i$  – варіанти ПР сукупності  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$  щодо типу, конструкції та параметрів дренажу.

В розвиток підходів А.М. Рокочинського та досліджень Н.А. Фроленкової, за загальний економічний критерій оптимізації приймається показник приведених витрат  $Z$  з урахуванням погодно-кліматичного ризику  $R_i$ , зведених до порівняльного вигляду  $ZP_i$  за обсягом (вартістю)  $V$  отримуваної продукції за відповідними варіантами ПР  $\{i\}$

$$ZP_i = \frac{(C_i^{cz} + C_i^m + A_i + E_n \cdot K_i + R_i)}{V_i}, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (5.83)$$

де  $C_i^{cz}$  – сільськогосподарські затрати при вирощуванні сільськогосподарських культур за  $i$ -м варіантом ПР, грн/га;

$C_i^m$  – меліоративні затрати або затрати на експлуатацію за  $i$ -м варіантом ПР, грн/га;

$A_i$  – амортизаційні витрати за  $i$ -тим варіантом ПР, грн/га;

$E_n$  – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень на влаштування дренажу,

$K_i$  за  $i$ -м варіантом ПР, грн/га.

При цьому погодно-кліматичний ризик визначається як

$$R_i = \sqrt{(V_i - \hat{V}_i)^2}, \quad (5.84)$$

де  $V_i$  – вартість валової продукції за фактичною врожайністю, отриманою за  $i$ -тим варіантом ПР, грн/га;

$\hat{V}_i$  – вартість валової продукції за потенційно можливою врожайністю на об'єкті, грн/га;

Оскільки робота дренажу в режимі осушення призводить до посилення промивного водного режиму, і, як наслідок, зниження родючості ґрунтів через вимивання поживних речовин та порушення структури ґрунту, тому, згідно з А.М. Рокочинським, критерієм екологічної оптимальності ПР щодо параметрів дренажу може виступати відхилення середньозваженого значення модуля дренажного стоку в межах системи та проектного терміну

функціонування об'єкта  $q_s$  від граничного значення модуля дренажного стоку  $\hat{q}_{\text{д\acute{e}i\acute{e}}}$ , що відповідає екологічному рівню ефективності роботи дренажу в умовах досліджуваного об'єкта.

### **5.7.2. Принципи побудови та реалізації комплексної моделі оптимізації параметрів дренажу**

Всі складові комплексної моделі оптимізації, такі як техніко-економічні показники, що входять до складу економіко-математичної моделі, а також екологічний показник (критерій) водного і загального природно-меліоративного режимів осушуваних земель, визначаються прийнятими параметрами дренажу, є змінними і залежать від багатьох чинників, головними з яких є конструктивно-технологічні, природно-кліматичні, ґрунтово-меліоративні, агротехнічні та інші умови об'єкта. Вони схематично можуть бути представлені через сукупності відповідних множинних змінних показників:

- конструктивно-технологічні множинні змінні: види дренажу за матеріалом виготовлення сукупності  $\{b\}$ ,  $b = \overline{I, n_b}$ ; конструкції дренажу за різними діаметрами труб сукупності  $\{d\}$ ,  $d = \overline{I, n_d}$ ; конструкції фільтрів дренажу сукупності  $\{\varphi\}$ ,  $\varphi = \overline{I, n_\varphi}$ ; розрахунковими схемами роботи дренажу щодо наявних ґрунтово-меліоративних різниць сукупності  $\{m_g\}$ ,  $m_g = \overline{I, n_{m_g}}$ ;

- прогнозно-імітаційні множинні змінні: метеорологічні станції чи пости в межах систем сукупності  $\{\omega\}$ ,  $\omega = \overline{I, n_\omega}$ ; розрахункові за умовами тепло- й вологозабезпеченості періоди вегетації сукупності  $\{p\}$ ,  $p = \overline{I, n_p}$ ; види осушуваних ґрунтів сукупності  $\{g\}$ ,  $g = \overline{I, n_g}$ ; вирощувані культури проектної сівозміни сукупності  $\{k\}$ ,  $k = \overline{I, n_k}$ ; способи водорегулювання сукупності  $\{s\}$ ,  $s = \overline{I, n_s}$  (у нашому випадку  $s = I$  - осушення).

Співвідношення між варіантами конструктивно-технологічних ПР та множинними природно-агро-меліоративними умовами об'єкту представлені на рис. 5.14.

Принципи побудови й реалізації комплексної моделі оптимізації ґрунтуються на пов'язаних між собою конструктивно-технологічному, прогнозно-імітаційному й оптимізаційному блоках моделей для обґрунтування оптимальних параметрів дренажу, їх впливу на врожай вирощуваних культур та створюваний економічний й екологічний ефекти (рис. 5.15).

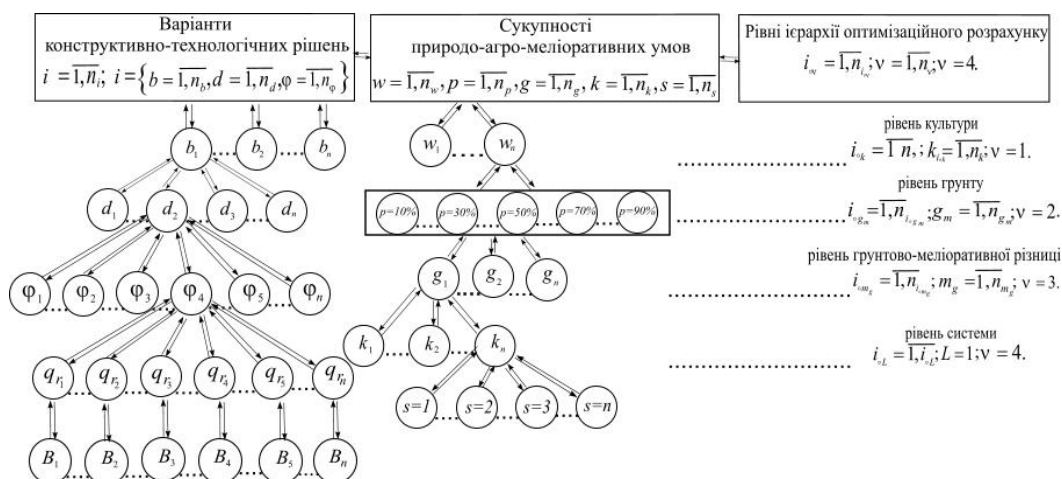


Рис. 5.14. Співвідношення між варіантами конструктивно-технологічних ПР та множинними природно-агро-меліоративними умовами об'єкту

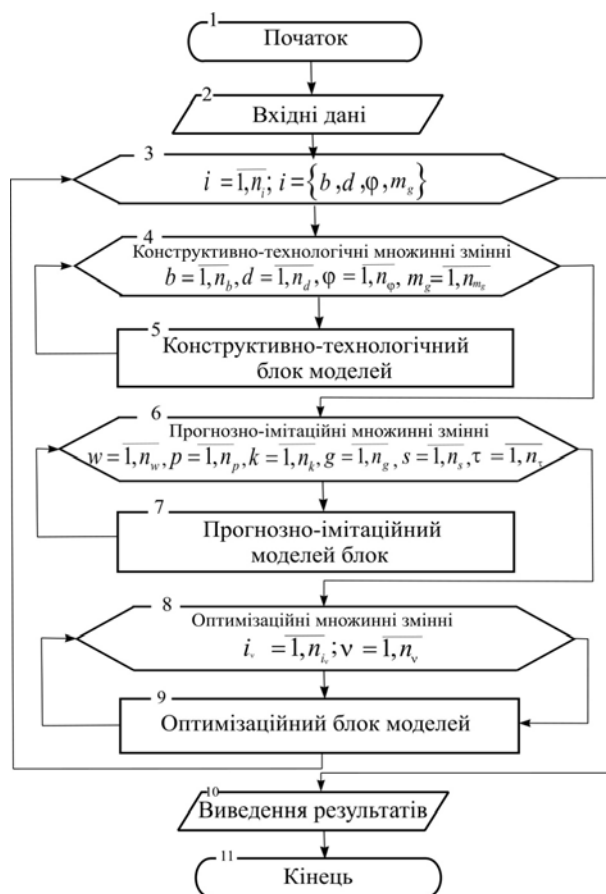


Рис. 5.15. Узагальнена блок-схема прогнозно-оптимізаційних розрахунків з обґрунтування оптимальних параметрів дренажу на осушуваних землях за економічними та екологічними вимогами

Тому характерними особливостями представленої структури є блочний принцип її побудови та реалізації. При цьому виділяються такі відносно самостійні узагальнюючі блоки:

- блок формування вихідних даних за сукупностями основних природно-кліматичних, ґрунтово-меліоративних, конструктивно-технологічних й інших чинників, які визначально впливають на вибір параметрів дренажу (блок 2, рис. 5.15);

- блок формування варіантів ПР сукупності  $\{i\}, i = \overline{1, n_i}$  за множинними конструктивно-технологічними змінними щодо конструктивних параметрів дренажу  $i = \{b, d, \varphi, m_g\}, i = \overline{1, n_i}$  (блок 3, рис. 5.15);

- блок конструктивно-технологічних множинних змінних щодо конструктивних параметрів дренажу за сукупностями:  $\{b\}, b = \overline{1, n_b}; \{d\}, d = \overline{1, n_d}; \{\varphi\}, \varphi = \overline{1, n_\varphi}; \{m_g\}, m_g = \overline{1, n_{mg}}$  (блок 4, рис. 5.15);

- блок конструктивно-технологічних моделей передбачає обґрунтування й визначення значень модулів дренажного стоку щодо рівнів ефективності роботи дренажу за варіантами ПР сукупності  $\{q_{ri}\}, q_{ri} = \overline{1, n_{q_{ri}}}, r = \overline{1, n_r}, i = \overline{1, n_i}$  та відповідних відстаней між дренами сукупності,  $\{B_{ri}\}, B_{ri} = \overline{1, n_{B_{ri}}}, r = \overline{1, n_r}, i = \overline{1, n_i}$  (блок 5, рис. 5.15);

- блок формування прогнозно-імітаційних множинних змінних досліджуваного об'єкта за сукупностями:  $\{\omega\}, \omega = \overline{1, n_\omega}; \{p\}, p = \overline{1, n_p}; \{g\}, g = \overline{1, n_g}; \{k\}, k = \overline{1, n_k}; \{s\}, s = \overline{1, n_s}$ , (у даному випадку  $s = 1$  - осушення);  $\{\tau\}, \tau = \overline{1, n_\tau}$  (блок 6, рис. 5.15);

- блок прогнозно-імітаційних моделей передбачає реалізацію прогновної оцінки на довготерміновій основі кліматичних умов місцевості, водного режиму, технологій водорегулювання та продуктивності осушуваних земель й визначення диференційованих значень урожайності вирощуваних культур за варіантами ПР сукупності  $\{Y_{ri}\}, Y_{ri} = \overline{1, n_{ri}}, r = \overline{1, n_r}, i = \overline{1, n_i}$ , (блок 7, рис. 5.15);

- блок формування оптимізаційних множинних змінних сукупності  $\{i_v\}, i_v = \overline{1, n_{iv}}, v = \overline{1, n_v}$  (блок 8, рис. 5.15);

- блок оптимізаційних моделей передбачає визначення критеріїв оптимізації за варіантами ПР  $\{ZP_i\}, i = \overline{1, n_i}$ , щодо рівнів ієрархії реалізації моделі оптимізації  $\{ZP_{iv}\}, i = \overline{1, n_i}, v = \overline{1, n_v}$ , а також оптимального

рішення щодо параметрів дренажу в заданих умовах  $i_0 = \{ZP_0, q_0, B_0\}$  (блок 9, рис. 5.15);

– блок формування й виведення будь-яких проміжних (за необхідності) та остаточних результатів прогнозно-оптимізаційних розрахунків на будь-якому етапі їх виконання (блок 10, рис. 5.15).

Наведена на рис. 5.15 загальна універсальна структура прогнозно-оптимізаційних розрахунків буде дещо змінюватись у кожному конкретному випадку її застосування в залежності від рівня оптимізаційної задачі, що розв'язується, прийнятої до розгляду  $n$ -рівневої ієрархічної структури їх виконання та конкретних природно-агро-меліоративних й інших умов об'єкта управління.

Умовою реалізації комплексної моделі оптимізації виступає так звана «виробнича функція» як основа функції оптимізації, яка в нашому випадку має враховувати технологічні, економічні та екологічні аспекти роботи дренажу.

При цьому, реалізація економічної складової комплексної моделі оптимізації щодо параметрів дренажу, за аналогією з А.М. Рокочинським може бути представлена як підсистема виду *врожай сільськогосподарських культур* ( $Y$ )  $\Leftrightarrow$  *модуль дренажного стоку* ( $q$ )  $\Leftrightarrow$  *відстань між дренами* ( $B$ ), де модуль дренажного стоку виступає ключовою ланкою.

Тоді, ввівши необхідні позначення, функціональний зв'язок між складовими означеної підсистеми у загальному випадку може бути представлений в неявному вигляді як

$$Y_i = f_1(f_2(B_i)), i = \overline{1, n_i}. \quad (5.85)$$

Функція (5.85), в нашому випадку, виступає як основа «виробничої функції» комплексної моделі оптимізації, але вона не має явного розв'язку, водночас її елементи та функціональний зв'язок між ними вже мають приклади реалізації на науковому та виробничому рівні щодо залежності між параметрами дренажу ( $B_i$ ) та технологій водорегулювання ( $q_i$ ), як оберненої функції

$$B_i = f'_1(q_i), \quad (5.86)$$

та відповідної залежності між параметрами ефекту  $Y_i$  та технологій водорегулювання  $q_i$

$$Y_i = f_2(q_i). \quad (5.87)$$

В існуючих методах розрахунку дренажу, як традиційних, так і економіко-математичних, переважає підхід до визначення його параметрів за одиничним розрахунковим значенням величини модуля дренажного стоку з дотриманням тільки технологічних вимог до його роботи щодо зниження рівня ґрунтових вод та відведення надлишкової води з активної кореневмісної зони осушуваного ґрунту у весняний (основний розрахунковий) період.

Виходячи з сучасних технологічних, економічних та екологічних вимог до роботи дренажу, при реалізації комплексної моделі оптимізації (5.82) нами пропонується визначати множину розрахункових значень модуля дренажного стоку щодо рівнів ефективності роботи дренажу з урахуванням різних рівнів продуктивності, цінності та рентабельності вирощуваних культур в умовах реального об'єкта за відповідною множиною варіантів ПР.

Таким чином, виникає необхідність у вирішенні наступного комплексу завдань, що пов'язані з розробкою конструктивно-технологічних, прогнозно-імітаційних та оптимізаційних моделей. Розгляду й вирішенню означеного кола питань присвячені наступні розділи.

### **5.7.3. Принципи побудови та реалізації конструктивно-технологічного блоку моделей**

Необхідність в удосконаленні методів оптимізації параметрів сільськогосподарського дренажу за множинними змінними природно-агро-меліоративними умовами (кліматичні, гідрологічні, агротехнічні, технологічні) реального об'єкта, які ґрунтуються на системному розгляді меліоративних об'єктів як складних природно-технічних систем.

Тому принципи побудови та реалізації вище згаданої комплексної моделі оптимізації ґрунтуються на пов'язаних між собою конструктивно-технологічному, прогнозно-імітаційному й оптимізаційному блоках моделей для обґрунтування оптимальних параметрів дренажу, їх впливу на врожай вирощуваних культур та створений економічний й екологічний ефекти.

Блок конструктивно-технологічних моделей призначений для обґрунтування множини модулів дренажного стоку за всіма можливими альтернативними варіантами ПР щодо параметрів дренажу за умовами реального об'єкта.

Можливі варіанти ПР щодо параметрів дренажу можуть бути формалізовані у такому вигляді

$$i = \overline{I, n_i}; i = \{b, d, \varphi, m_g\}. \quad (5.88)$$

У свою чергу, всі варіанти ПР сукупності  $\{i\} i = \overline{I, n_i}$ , мають бути реалізовані за усіма відповідними сукупностями множинних змінних умов досліджуваного об'єкта:  $\{\omega\}, \omega = \overline{I, n_\omega}; \{p\}, p = \overline{I, n_p}; \{g\}, g = \overline{I, n_g}; \{k\}, k = \overline{I, n_k}; \{s\}, s = \overline{I, n_s}$  (у нашому випадку  $s = I$  – осушення).

Оскільки основним (розрахунковим) періодом роботи дренажу є весняний період, тому вплив його роботи на формування врожаю вирощуваних культур, згідно з В.Г. Мурановим та ін.; може бути оцінений через зв'язок між параметрами ефекту ( $Y_i$ ) і сумою позитивних середньодобових температур повітря ( $^{\circ}\text{C}$ ), накопиченою після дати



оптимального терміну посіву або відновлення вегетації культури ( $\sum \hat{T}_k^a$ ), як параметрами відповідного природно-меліоративного режиму

$$Y_i = f_2(\sum T_k^6). \quad (5.89)$$

У свою чергу, залежність (5.89) може бути виражена як

$$q_k^r = f_2'(U_k^r, \sum \hat{T}_{kr}^a). \quad (5.90)$$

У такому вигляді вона відображає взаємозв'язок між різними рівнями ефективності роботи дренажу сукупності  $\{q_r\}$ ,  $r = \overline{1, n_r}$  ( $r = 1$  – екологічний,  $r = 2$  – технологічний,  $r = 3$  – економічний) у весняний розрахунковий період та продуктивністю (рентабельністю та цінністю) вирощуваних культур  $U_k^r$  ( $U_k^{(1)}$  – низький,  $U_k^{(2)}$  – середній,  $U_k^{(3)}$  – високий) з відповідними значеннями визначеного максимального відхилення суми середньодобових температур повітря, накопичених від дати оптимального терміну посіву або відновлення вегетації  $\sum \hat{T}_{\hat{e}r}^a$  у зоні їх біологічного оптимуму (рис. 5.16).

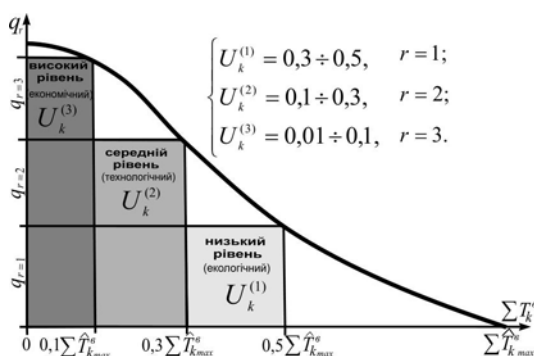


Рис. 5.16. Загальна схема залежності  $q_r$ ,  $r = \overline{1, n_r}$  від  $\sum \hat{T}_{\hat{e}r}^a$  для  $k$ -тої культури щодо екологічного, технологічного та економічного рівнів ефективності роботи дренажу

Вихідні значення модуля дренажного стоку щодо різних рівнів ефективності роботи дренажу  $\{q_r\}$ ,  $r = \overline{1, n_r}$  можуть бути визначені за емпіричною залежністю

$$q_r = \left( \frac{A_z \cdot \mu^{0,5}}{\sum \hat{T}_{kr}^a + B_z} \right)^{0,5}, \quad r = \overline{1, n_r}. \quad (5.91)$$

де  $A_z$  і  $B_z$  – зональні емпіричні коефіцієнти, які залежать від місцезнаходження об'єкта,

$\mu$  – коефіцієнт водовіддачі ґрунту.

У свою чергу, значення  $\sum \hat{T}_k^{\hat{a}}$  визначаються як відповідні максимальні значення відхилення терміну сівби або відновлення вегетації (градусоднів) вирощуваних культур та зниження їх врожаю за коефіцієнтом  $k_3$ , що описується емпіричною залежністю виду

$$k_3 = \frac{1 - (\lambda_k \cdot \sum \hat{\sigma}_k^{\hat{a}})^2}{1 + (\lambda_k \cdot \sum \hat{\sigma}_k^{\hat{a}})^2}, \quad (5.92)$$

де  $\lambda_k$  – емпіричний коефіцієнт.

Відповідні значення  $\lambda_k$ ,  $\sum \hat{T}_{\hat{e}_{max}}^{\hat{a}}$  та  $\sum \hat{T}_{kr}^{\hat{a}}$  щодо різних рівнів ефективності роботи дренажу  $\{r\}$ ,  $r = \overline{1, n_r}$  для основних видів та продукції вирощуваних культур на осушуваних землях наведені в табл. 5.5.

Таблиця 5.5

Значення параметрів  $\lambda_k$ ,  $\sum \hat{T}_{\hat{e}_{max}}^{\hat{a}}$  та  $\sum \hat{T}_{kr}^{\hat{a}}$  щодо різних рівнів ефективності роботи дренажу  $\{r\}$ ,  $r = \overline{1, n_r}$  для основних видів та продукції вирощуваних культур

№ з/п	Вид культури	Основна продукція	$\lambda_k$	$\sum \hat{T}_{\hat{e}_{max}}^{\hat{a}}, ^\circ \tilde{N}$	$\sum \hat{T}_{\hat{e}r}^{\hat{a}}, ^\circ \tilde{N}$		
					$r = 1$	$r = 2$	$r = 3$
1	Зернобобові	зерно	$1,6 \cdot 10^{-6}$	760	380	228	76
2	Зернобобові	зелена	$9,2 \cdot 10^{-6}$	325	162,5	97,5	32,5
3	Ярові зернові	зерно	$3,6 \cdot 10^{-6}$	520	260	156	52
4	Озимі зернові	зерно	$2,6 \cdot 10^{-6}$	550	275	165	55
5	Льон	волокно	$5,1 \cdot 10^{-6}$	400	200	120	40
6	Картопля	бульба	$1,8 \cdot 10^{-6}$	730	365	219	73
7	Цукрові буряки	корені	$1,3 \cdot 10^{-6}$	860	430	258	86
8	Кормові буряки	корені	$1,2 \cdot 10^{-6}$	850	425	255	85
9	Столові буряки	корені	$1,5 \cdot 10^{-6}$	775	387,5	232,5	77,5
10	Морква	корені	$1,4 \cdot 10^{-6}$	770	385	231	77
11	Помідори	томати	$1,7 \cdot 10^{-6}$	740	370	222	74
12	Капуста пізня	качани	$2,2 \cdot 10^{-6}$	655	327,5	196,5	65,5
13	Однорічні трави	зелена	$1,3 \cdot 10^{-6}$	865	432,5	259,5	86,5
14	Багаторічні трави	сіно	$1,5 \cdot 10^{-6}$	820	410	246	82
15	Кукурудза	зерно	$2,8 \cdot 10^{-6}$	530	265	159	53
16	Кукурудза	зелена	$5,8 \cdot 10^{-6}$	410	205	123	41
17	Пасовища	зелена	$3,4 \cdot 10^{-6}$	490	245	147	49

Розрахункові значення модуля дренажного стоку сукупності  $\{\hat{q}_{rp}\}$ ,  $r = \overline{1, n_r}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$  щодо різних рівнів ефективності роботи дренажу та розрахунковими періодами вегетації з урахуванням їх тепло- і вологозабезпеченості в межах проектного терміну функціонування об'єкта можуть бути визначені як

$$\hat{q}_{rp} = q_r \cdot K_p^T \cdot K_p^P, r = \overline{1, n_r}, p = \overline{1, n_p}. \quad (5.93)$$

де  $K_p^T$  враховує умови теплозабезпеченості періоду вегетації  $k$ -тої культури і визначається на основі співвідношення середньодекадних значень суми ефективних температур повітря за  $p$ -й розрахунковий період вегетації сукупності  $\{p\}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$  до відповідної суми ефективних температур повітря за середньобагаторічною нормою вирощуваної культури. Аналогічно коефіцієнт  $K_p^P$  враховує умови вологозабезпеченості періоду вегетації  $k$ -тої культури.

Таким чином, на підставі розглянутого підходу можуть бути визначені та використані в оптимізаційних розрахунках значення модулів дренажного стоку щодо економічних, технологічних та екологічних рівнів ефективності роботи дренажу для основних вирощуваних культур на осушуваних землях.

Що стосується функції між параметрами дренажу ( $B_i$ ) та технологій водорегулювання ( $q_i$ ), як оберненої функції виду

$$B_i = f'_i(q_i), \quad (5.94)$$

то на даний час розроблена значна кількість за своєю суттю, методів і моделей з визначення міждренних відстаней сільськогосподарського горизонтального дренажу, що розроблялись як в нашій країні так і за її межами А.М. Костяковим, С.Ф. Авер'яновим, А.М. Янголем, О.Я. Олійником, М.Г. Пивоваром, В.Л. Поляковим, Л.Ф. Кожушком, А.В. Черенковим, Г.І. Сапсаєм та ін.

Тому вважаємо за доцільне використовувати загальноприйняту формулу згідно ДБН В.2.4-1-99, з урахуванням розробок О.Я. Олійника та О.І. Мурашко, для однорідних і шаруватих ґрунтів в умовах атмосферно-ґрунтового живлення.

Ефективність її застосування підтверджена іншими дослідниками та практикою як у зоні осушувальних, так і зрошувальних меліорацій.

Таким чином, за результатом реалізації конструктивно-технологічного блоку моделей визначені множинні значення модулів дренажного стоку за варіантами ПР сукупності  $\{q_{rpi}\}$ ,  $q_{rpi} = \overline{1, n_{q_{rpi}}}$ ,  $r = \overline{1, n_r}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$  та відповідних відстаней між дренами сукупності  $\{B_{rpi}\}$ ,  $B_{rpi} = \overline{1, n_{B_{rpi}}}$ ,  $r = \overline{1, n_r}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$ .

Так, результати реалізації моделі параметрів дренажу є вихідними даними для подальшої реалізації прогнозно-імітаційного та оптимізаційного блоків моделей.

#### **5.7.4. Принципи побудови та реалізації прогнозно-імітаційного блоку моделей**

Головним завданням прогнозно-імітаційного блоку моделей є визначення диференційованих значень урожайності вирощуваних культур за відповідними варіантами ПР щодо параметрів дренажу, а також прогнозних значень модулів дренажного стоку для перевірки ефективності його роботи.

Для визначення врожайності вирощуваних культур на осушуваних землях доцільно за основу використати модель А.М.Рокочинського та С.В.Шалая, яка, з існуючих моделей, найбільш повно відповідає вимогам практичності їх використання в прогнозно-оптимізаційних розрахунках на довготерміновій основі ОС та їх складових. Дана модель представлена у вигляді складної комплексної моделі мультиплікативного типу, що виражена через добуток функцій впливу визначальних факторів на формування врожаю за системою відповідних коефіцієнтів.

$$Y_{kogsp} = Y_{okp}^F \cdot \prod_{i=1}^{n_i} K_i = Y_{okp}^F \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (5.95)$$

де  $Y_{okp}^F$  – кліматично забезпечена врожайність за вегетацію  $k$ -ї культури;

$K_1$  – коефіцієнт зниження врожайності за бонітетом ґрунту  $g$  ( $0 \leq K_1 \leq 1$ );

$K_2$  – коефіцієнт збільшення врожайності за внесеними добривами, ( $K_2 > 1$ , але  $0 < K_1 K_2 \leq 1$ );

$K_3$  – коефіцієнт зниження врожайності при відхиленні терміну сівби чи відновлення вегетації від оптимального ( $0 \leq K_3 \leq 1$ );

$K_4$  – коефіцієнт впливу поточних природно-меліоративних умов (клімату  $\omega$ ,  $p$  та технологій водорегулювання  $s$ ) періоду вегетації культури на формування врожайності ( $0 \leq K_4 \leq 1$ );

$K_5$  – коефіцієнт зниження врожайності при відхиленні терміну збирання від оптимального ( $0 \leq K_5 \leq 1$ );

$K_6$  – коефіцієнт зменшення врожайності за рахунок втрат при збиранні та транспортуванні ( $0 < K_6 \leq 1$ ).

Важливою складовою моделі (5.95) є коефіцієнт  $K_3$ , який фактично характеризує вплив роботи дренажу на формування врожаю у весняний основний розрахунковий період. На стадії проекту меліоративних об'єктів його рекомендується приймати  $K_3 = 1$  у випадку, якщо конструкція та параметри дренажу забезпечують необхідний водно-повітряний режим ґрунту в посівний період. За В.Г.Мурановим, цей показник може визначатися за емпіричною залежністю через зв'язок втрат врожаю сільськогосподарських культур внаслідок відхилення термінів сівби та відновлення вегетації від

оптимальних значень. Але означені підходи не дають змогу диференціювати врожайності культур в відповідності з можливими варіантами конструкцій та параметрів дренажу з врахуванням множинних природо-агро-меліоративних умов реального об'єкта.

Тому для вирішення даного завдання необхідно встановити зв'язок підсистеми виду врожай сільськогосподарських культур ( $Y$ )  $\Leftrightarrow$  модуль дренажного стоку( $q$ ) у весняний період, що є складовою більш загальної системи врожай культур ( $Y$ )  $\Leftrightarrow$  модуль дренажного стоку( $q$ )  $\Leftrightarrow$  відстань між дренажами( $B$ ) у вигляді функції.

$$Y_i = f_1(q_i). \quad (5.96)$$

Функція (5.19) дуже складна і прямого розв'язку не має, тому за аналогією з нами вводиться коефіцієнт  $k_{di}$ , який змінюється в інтервалі  $[0,1]$  і характеризує вплив роботи дренажу у весняний розрахунковий період на формування врожаю у відносному вигляді кожної культури проектної сівоzmіни в залежності від її виду, продуктивності і рентабельності.

Тоді

$$k_{di} = f_2(q_i), \quad (5.97)$$

$$Y_i = f_3(k_{di}). \quad (5.98)$$

Для реалізації функції (5.21) може бути використаний вже апробований підхід, що встановлює зв'язок урожайності вирощуваних культур з визначальними складовими продуктивного процесу (фотосинтез, водоспоживання тощо) та відповідними факторами впливу зовнішнього середовища (температурний, водно-повітряний режим). Цей зв'язок має s-подібний характер в інтервалі граничних і оптимальних значень визначальних факторів впливу та згідно з може бути апроксимований у межах зростаючої частини даної нормованої кривої з одним максимумом у вигляді складеної тригонометричної функції

$$y = \begin{cases} 0,485 - 0,385 \arctg(A - Bx), & \underline{x} \leq x \leq x^0; \\ 0,485 + 0,385 \arctg(C - Dx), & x^0 \leq x \leq \bar{x}, \end{cases} \quad (5.99)$$

В яких

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{3,65(0,9x^0 + \underline{x})}{x^0 - \underline{x}}; & B &= \frac{7,3}{x^0 - \underline{x}}; \\ C &= \frac{3,90(\bar{x} + 0,9x^0)}{\bar{x} - x^0}; & D &= \frac{7,3}{\bar{x} - x^0}. \end{aligned} \right\} \quad (5.100)$$

У виразах (5.99), (5.100) використані такі позначення:  $y$  - нормована функція, що приймає значення в інтервалі  $[0,1]$ ;  $x$  - аргумент функції;  $A, B, C$ ,

$D$  – коефіцієнти кривих;  $\underline{x}, x^0, \bar{x}$  – відповідно початок, екстремальна точка (де  $y = I$ ) і кінець області визначення аргументу.

Тому, за аналогією та в розвиток з, нами отримана аналогічна крива, яка описує зв'язок коефіцієнту  $k_{di}$  впливу роботи дренажу на формування врожаю з величиною модуля дренажного стоку  $q_r$ .

$$k_d = \begin{cases} 0,49 - 0,385 \arctg(3,28 - B_q), 0 \leq q_r \leq q_r^0; \\ 0,49 + 0,385 \arctg(3,28 - D_q), q_r^0 \leq q_r \leq 0 \end{cases}; \quad (5.101)$$

тоді

$$B_q = 7,3/q_r^0; D_q = 7,3/q_r^0, \quad (5.102)$$

де  $q_r$  – значення модуля дренажного стоку для кожної культури сівозміни з врахуванням різних рівнів ефективності роботи дренажу сукупності  $\{r\}, r = \overline{1, n_r}$  ( $r = 1$  – екологічний,  $r = 2$  – технологічний,  $r = 3$  – економічний,  $r = 4$  – критичний).

Виходячи з загальної постановки оптимізаційної задачі щодо конструкції та параметрів сільськогосподарського дренажу, головною вимогою до функції зв'язку між параметрами ефекту (врожаю) та модулем дренажного стоку (або коефіцієнтом  $k_d$ ) є необхідність забезпечення можливості визначення змінного значення оптимуму щодо відповідного рівня ефективності його роботи.

Тому, в загальному випадку, нами пропонується функцію (5.101) реалізувати як сімейство відповідних нормованих кривих у вигляді складених тригонометричних функцій зі змінним характером визначення точки «оптимальної» (заданої) продуктивності вирощуваної культури проектної сівозміни коли  $k_d = 1$ , щодо відповідних значень параметрів модуля дренажного стоку за різними рівнями ефективності роботи дренажу  $q_r$ ,  $r = \overline{1, n_r}$  (рис. 5.17).

В таблиці 5.6 представлені значення коефіцієнта впливу роботи дренажу на формування врожаю вирощуваних культур проектної сівозміни  $k_d$  для різних діапазонів варіювання величини модуля дренажного стоку  $q_r$ .

Тоді, показник  $K_3$  в моделі (5.95) пропонується розглядати як  $K_3 \equiv k_d$ .

Таким чином, на основі отриманих кривих нами встановлено зв'язок між параметрами ефекту (врожаю) та модулем дренажного стоку, що дасть змогу в кожному конкретному випадку визначати змінне значення оптимуму щодо ефективності роботи дренажу за відповідними рівнями продуктивності вирощуваних культур.

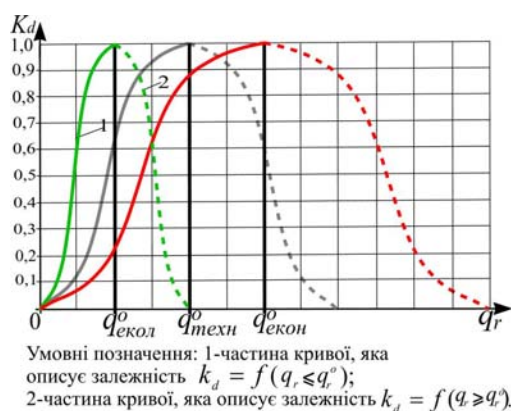


Рис. 5.17. Сімейство кривих, які описують залежність коефіцієнту впливу роботи дренажу  $k_d$  на формування врожаю культур від величини модуля дренажного стоку  $q_r$

Таблиця 5.6

Значення коефіцієнта впливу роботи дренажу  $k_d$  при формуванні врожаю від модуля дренажного стоку при різних рівнях її ефективності  $q_r$

№	$q_r$	Коефіцієнти впливу роботи дренажу на формування врожаю ( $k_d$ )									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	0,05	0,617	0,110	0,053	0,033	0,023	0,017	0,013	0,010	0,008	0,006
2	0,1	1,00	0,617	0,211	0,110	0,072	0,053	0,041	0,033	0,027	0,023
3	0,15		0,924	0,617	0,290	0,163	0,110	0,082	0,064	0,053	0,044
4	0,2		1,00	0,871	0,617	0,347	0,211	0,146	0,110	0,087	0,072
5	0,25			0,957	0,833	0,617	0,390	0,253	0,180	0,137	0,110
6	0,3			1,00	0,924	0,803	0,617	0,422	0,290	0,211	0,163
7	0,35				0,969	0,896	0,780	0,617	0,447	0,321	0,240
8	0,4				1,00	0,945	0,871	0,762	0,617	0,466	0,347
9	0,45					0,975	0,924	0,851	0,748	0,617	0,482
10	0,5					1,00	0,957	0,905	0,833	0,736	0,617
11	0,55						0,979	0,940	0,887	0,817	0,725
12	0,6						1,00	0,964	0,924	0,871	0,803
13	0,65							0,982	0,950	0,909	0,857
14	0,7							1,00	0,969	0,936	0,896
15	0,75								0,984	0,957	0,924
16	0,8								1,00	0,973	0,945
17	0,85									0,985	0,962
18	0,9									1,00	0,975
19	0,95										0,986
20	1,0										1,00

У подальшому модель врожайності спирається на реалізацію комплексу прогнозно-імітаційних моделей з прогнозою оцінки на довготерміновій основі кліматичних умов місцевості та водного режиму і технологій водорегулювання осушуваних земель.

Таким чином, реалізація запропонованого підходу дасть змогу отримати диференційовані значення врожайності сукупності  $\{Y_{rpi}\}$ ,  $Y_{rpi} = \overline{I, n_{Y_{rpi}}}$ ,  $r = \overline{I, n_r}$ ,  $p = \overline{I, n_p}$ ,  $i = \overline{I, n_i}$ , які відповідають сформованим варіантам ПР щодо параметрів дренажу.

Крім того, реалізація комплексу прогнозно-імітаційних моделей створює необхідні передумови до визначення екологічної складової комплексної моделі оптимізації параметрів дренажу та перевірки ефективності його роботи на стадії проекту об'єкта.

#### **5.7.5. Принципи побудови та реалізації оптимізаційного блоку моделей**

Головним завданням оптимізаційного блоку моделей є визначення оптимального ПР з прийнятої сукупності  $\{i\}$ ,  $i = \overline{I, n_i}$  альтернативних варіантів щодо параметрів дренажу в заданих умовах реального об'єкта, а також проведення оцінки ефективності його роботи за ним.

Оскільки запропонована нами комплексна модель оптимізації параметрів дренажу включає в себе різномірні показники економічної та екологічної ефективності, тому її практична реалізація зводиться до визначення економічно оптимального та екологічно прийняттого (доцільного) ПР.

Тоді, економічна складова комплексної моделі оптимізації конструкції й параметрів дренажу при його роботі в режимі осушення з урахуванням множинних змінних природно-агро-меліоративних умов реального об'єкта у загальному випадку може бути подана у вигляді

$$ZP_{0_v} = \min_{\{i\}} \sum_{m_g=1}^{n_{m_g}} \sum_{g_m=1}^{n_{g_m}} \sum_{k=1}^{n_k} \left( \sum_{p=1}^{n_p} ZP_{ipkg_m m_g} \cdot \alpha_p \right) \cdot f_k \cdot f_{g_m} \cdot f_{m_g}, i = \overline{I, n_i}, \quad (5.103)$$

де  $ZP_{0_v}$  – оптимальне значення критерію для кожного рівня ієрархії  $v = \overline{I, n_v}$ , грн/га ;

$ZP_{ipkg_m m_g}$  – значення критерію за відповідними варіантами ПР щодо множинних змінних природно-агро-меліоративних умов досліджуваного об'єкта, грн/га ;

$f_k, f_g, f_{m_g}$  – дольові частки розповсюдження відповідно культур проектної сівозміни, ґрунтових умов, ґрунтово-меліоративних різниць у межах об'єкта.

Остаточний вигляд загальних розрахункових моделей оптимізації конструкції й параметрів дренажу визначається за прийнятою  $n$ -рівневою



( $v = \overline{1, n_v}$ ) структурою виконання оптимізаційних розрахунків залежно від рівня сформульованого завдання - знаходження оптимуму відповідно до ієрархічної структури побудови системи (рис. 5.18). У нашому випадку ( $n_v = 4$ ):  $v = 1$  – на рівні культури проектної сівозміни;  $v = 2$  – на рівні ґрунту;  $v = 3$  – на рівні ґрунтово-меліоративної різниці;  $v = 4$  – на рівні системи в цілому.

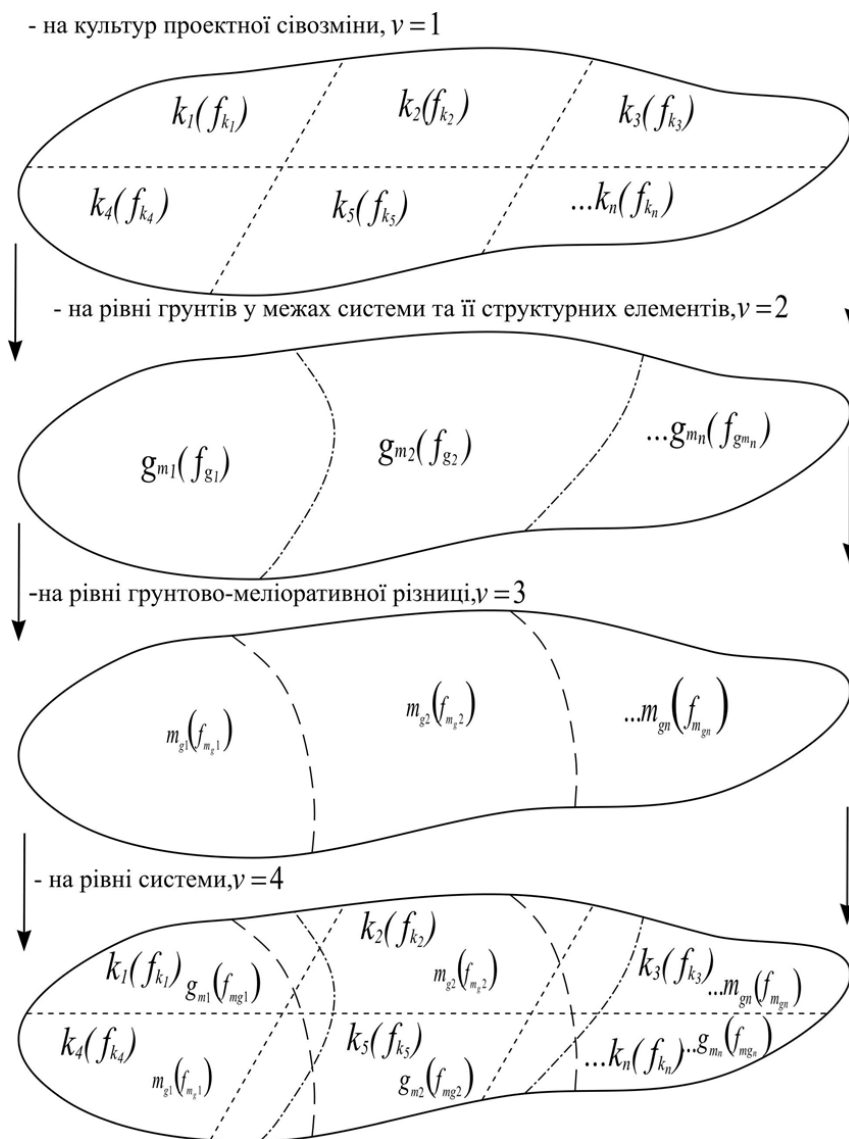


Рис. 5.18. Схема реалізації оптимізаційних розрахунків з обґрунтування оптимальних параметрів сільськогосподарського дренажу

Тоді, з урахуванням викладеного та принципів побудови загальних моделей оптимізації, вихідні моделі оптимізації з обґрунтування конструктивних рішень та параметрів дренажу можуть мати вигляд:

- на рівні культур проектної сівозміни,  $v = 1$

$$ZP^0_{kg_m m_g} = \min_{\{i\}} ZP_{ikpg_m}, i = \overline{1, n_i}, k = \overline{1, n_k}, g_m = \overline{1, n_{g_m}} \quad (5.104)$$

де

$$ZP_{ikpg_m} = \sum_{p=1}^{n_p} \frac{1}{V_{ikpg_m}} (C_{ipkg_m} + E_n \cdot K_i + R_{ikpg_m}) \cdot \alpha_p, \\ i = \overline{1, n_i}, k = \overline{1, n_k}, g_m = \overline{1, n_{g_m}} \quad (5.105)$$

- на рівні ґрунтів у межах системи та її структурних елементів,  $v = 2$

$$ZP^0_{g_m} = \min_{\{i\}} \sum_{k=1}^{n_k} (ZP_{kg_m}) \cdot f_k, i = \overline{1, n_i}, g_m = \overline{1, n_{g_m}} \quad (5.106)$$

- на рівні ґрунтово-меліоративних різниць,  $v = 3$

$$ZP^0_{m_g} = \min_{\{i\}} \sum_{g_m=1}^{n_{g_m}} (ZP_{g_m m_g}) \cdot f_{g_m}, i = \overline{1, n_i}, m_g = \overline{1, n_{m_g}}; \quad (5.107)$$

- на рівні системи,  $v = 4$

$$ZP^0 = \min_{\{i\}} \sum_{m_g=1}^{n_{m_g}} ZP_{m_g} \cdot f_{m_g}, i = \overline{1, n_i}. \quad (5.108)$$

За результатами реалізації моделі (5.27) отримуємо оптимальні значення критерію  $ZP_0$  для кожного рівня ієрархії  $ZP_{0_v}, v = \overline{1, n_v}$  у досліджуваних умовах.

Тоді на рівні системи в цілому оптимальне ПР щодо конструкції і параметрів дренажу матиме такий вигляд та параметрами

$$i_0 = \{ZP_0, b_0, d_0, \varphi_0, q_0, B_0\}. \quad (5.109)$$

Екологічна прийнятність для визначеного економічно оптимального ПР щодо конструкції і параметрів дренажу на рівні системи досягається за умови, коли

$$q_s \rightarrow \hat{q}_{\hat{a}\hat{e}\hat{i}\hat{e}}, \quad (5.110)$$

де  $q_s$  середньозважене значення модуля дренажного стоку в межах системи та проектного терміну функціонування об'єкта

$$q_s = \sum_{g=1}^{n_g} \sum_{k=1}^{n_k} \left[ \sum_{p=1}^{n_p} \left( \sum_{\tau=1}^{n_\tau} q_{kgp\tau} / n_{p\tau} \right) \cdot \alpha_p \right] \cdot f_k \cdot f_g, \quad (5.111)$$

де  $q_{kgp\tau}$  – середньодекадні значення модуля дренажного стоку за розрахункові інтервали часу (декада) сукупності  $\{\tau\}$ ,  $\tau = \overline{1, n_\tau}$ , по таких

змінних умовах досліджуваного об'єкта щодо  $p = \overline{I, n_p}$ ,  $k = \overline{I, n_k}$ ,  $g = \overline{I, n_g}$  (визначаються за реалізацією комплексу прогнозно-імітаційних моделей);

$\hat{q}_{\hat{a}\hat{e}\hat{i}\hat{e}}$  – середньозважене граничне значення модуля дренажного стоку, що відповідає екологічному рівню ефективності роботи дренажу у межах системи

$$\hat{q}_{\hat{a}\hat{e}\hat{i}\hat{e}} = \sum_{g=1}^{n_g} \sum_{k=1}^{n_k} \left( \sum_{p=1}^{n_p} \hat{q}_{\hat{a}\hat{e}\hat{i}\hat{e} \text{ } kgp} \cdot \alpha_p \right) \cdot f_k \cdot f_g, \quad (5.112)$$

де  $\hat{q}_{\hat{a}\hat{e}\hat{i}\hat{e} \text{ } kgp}$  – значення модуля дренажного стоку, коли  $r$  відповідає екологічному рівню ефективності роботи дренажу для таких змінних умов досліджуваного об'єкта щодо  $p = \overline{I, n_p}$ ,  $k = \overline{I, n_k}$ ,  $g = \overline{I, n_g}$ ; (визначається за формулами (5.91), (5.93) стосовно відповідного рівня ефективності роботи дренажу).

Таким чином, за результатами реалізації оптимізаційного блоку моделей визначається економічно оптимальне та екологічно прийнятне ПР щодо параметрів дренажу досліджуваного об'єкта.

### **Контрольні питання**

1. Що таке модель меліоративної системи?
2. Що собою представляє модель меліорованого поля?
3. Які ви знаєте прогнозно-імітаційні моделі?
4. Принципи реалізації комплексу прогнозно-імітаційних моделей?
5. Принципи реалізації моделі продуктивності осушуваних земель?
6. Що таке погодно-кліматичний ризик?
7. Які вимоги пред'являються до оптимізаційних моделей?

## **Тема 6. Постановка і шляхи розв'язання проблеми оптимізації водорегулювання меліорованих земель**

### **6.1. Постановка і шляхи розв'язання проблеми оптимізації водорегулювання меліорованих земель**

Необхідність поєднання потреб інтенсифікації землеробства з охороною навколишнього середовища при масштабних розмірах меліорованих територій привели до необхідності переосмислення сучасного спрямування сільськогосподарських гідротехнічних меліорацій і підходів до обґрунтування їх складу.

За минулий період розвитку при обґрунтуванні й розміщенні меліорацій головна увага приділялась переважно питанню підвищення врожайності сільськогосподарських культур. Однак потрібен більш глибокий й різнобічний підхід до розвитку меліорацій, тому що разом із зростанням урожайності культур внаслідок меліорації земель в різних природних зонах мали місце такі негативні екологічні наслідки від осушення та зрошення:

- посилення вимивання поживних речовин з ґрунту через інтенсифікацію їх промивного водного режиму;
- посилення мінералізації поживних речовин ґрунту;
- посилення водної і вітрової ерозії ґрунтів внаслідок проведення заходів з прискорення поверхневого стоку; зміна умов ґрунтоутворення;
- забруднення поверхневих водойм і річок;
- зміна гідрологічної й гідрогеологічної обстановки на прилеглих до систем територіях тощо.

Тому при проведенні меліорацій необхідно посилювати біологічний і всіма можливими засобами уповільнювати геологічний кругообіги води, поживних речовин і хімічних елементів з метою прогресуючого підвищення родючості і продуктивності ґрунтів, щоб не допустити погіршення навколишнього середовища.

Тому метою меліорацій і землеробства на меліорованих територіях повинно бути не тільки збільшення сільськогосподарської продукції, але й збереження та покращення родючості ґрунтів за умови раціонального використання земельних, водних й інших ресурсів і охорони навколишнього середовища.

Для досягнення такої мети необхідно оцінювати роботу зрошувальних і осушувальних систем не тільки за вологістю ґрунту і наскільки вона є "комфортною" для вирощуваних культур, але й за сукупністю показників, які можна виразити у вигляді вимог до регульованих факторів ґрунтоутворення і розвитку рослин.

При проектуванні та експлуатації гідромеліоративна система повинна забезпечувати виконання всіх вимог меліоративного режиму. Він може бути сприятливим, коли за результатами правильного зрошення або осушення

земель і виконанні всіх заходів, що входять до системи землеробства, спостерігається зростання врожайності та родючості ґрунту, і несприятливим – при засоленні, осолонцюванні, заболочуванні ґрунту, посиленому розкладанні і витрачанні органічної речовини ним тощо.

Оскільки характер функціонування меліоративних об'єктів, як складних природно-технічних систем, дуже тісно зв'язаний та зумовлений природно-кліматичними чинниками, то, на наш погляд, поняття *«меліоративний режим»* доцільно розглядати дещо ширше, а саме як *«природно-меліоративний режим»*, що краще відповідає суті досліджуваних явищ і процесів.

Умовно весь комплекс меліоративних задач розділений на дві такі групи:

1. Аналіз процесів ґрунтоутворення й формування ґрунтово-меліоративних умов і на його основі обґрунтування необхідності меліорацій.
2. Розробка методів і технологій меліорацій як комплексного управління біологічним й геологічним кругообігами.

Перша група задач спрямована на дослідження процесів масо- й енергопереносу абіотичної (неживої) та біотичної (живої) природи; друга - передбачає вироблення певних принципів прийняття рішень.

Для комплексного розв'язування задач меліорації необхідно мати систему моделей, які описують взаємодію окремих складових біологічного й геологічного кругообігів, – систему, що дозволяє отримувати кількісні характеристики зміни параметрів кругообігів.

Постановка такої проблеми не нова, однак до цієї пори меліоративна наука і виробництво були спрямовані переважно на задоволення потреб вирощуваних рослин. Недостатня увага приділялась також оцінюванню й регулюванню ґрунтоутворення під впливом меліорацій з урахуванням вимог охорони природи.

Сьогодні необхідно ставити питання про цілісне описання кругообігів води, мінеральних й органічних речовин з метою кількісної оцінки взаємного впливу процесів, що відбуваються в атмосфері, ґрунтах, живій речовині, ґрунтових водах і т.д.

Меліоративна наука поки що не має повної системи таких моделей, для цього не завжди вистачає фактичних знань. При обґрунтуванні меліорацій обмежуються, головним чином, розглядом процесів волого- й солепереносу, не оцінюючи зміни біологічного й геологічного кругообігів і ґрунтоутворення в цілому.

Головне завдання підтримання сприятливого природно-меліоративного режиму - узгодження потреб розширеного відтворення родючості ґрунту і охорони природи в умовах інтенсивного землеробства, що забезпечує отримання заданих урожаїв сільськогосподарських культур з дотриманням екологічних вимог.

Родючість ґрунту є результатом ґрунтоутворюючого процесу, що складається з сукупності біологічних, хімічних і фізичних процесів. Тому не

просто вибрати набір показників, що характеризують природно-меліоративний режим. Це повинні бути показники, що піддаються регулюванню доступними за усталеної технології меліорації й землеробства прийомами. При цьому важливо, щоб був добре вивчений вплив цих прийомів на ґрунтоутворюючий процес і було достатньо фактичного матеріалу для його оцінки.

З розвитком науки, засобів збирання та обробки інформації й технології управління набір таких показників може змінюватися. Суттєвим є також наявність математичних моделей й алгоритмів, які дозволяють прогнозувати вплив тих чи інших показників на родючість ґрунтів.

Для визначення складу таких показників розглянуті загальні критерії, що необхідні для обґрунтування й вибору таких систем землеробства і меліорацій, які б відповідали загальному завданню – посиленню біологічного та уповільненню геологічного кругообігів води і хімічних речовин.

Такі критерії сформульовані ними наступним чином:

1. Максимальна продуктивність вирощуваних культур ( $Y \rightarrow \max$ ) при мінімальному витрачання водних ресурсів і поживних речовин на одиницю маси продукції. Для цього необхідно інтенсифікувати використання сонячної енергії посівами, що досягається регулюванням основних факторів життєдіяльності рослин, в тому числі, в першу чергу, водно-повітряного режиму ґрунтів.
2. Розширене відтворення родючості ґрунтів за допомогою прийомів землеробства і меліорацій для підвищення енергії ґрунтоутворення ( $Q \rightarrow \max$ ) та забезпечення позитивного балансу органічних і мінеральних поживних речовин.
3. Охорона навколишнього середовища. В цілому для реалізації заходів, що спрямовані на охорону природи, необхідно визначити допустимі границі зміни її стану (допустимі норми й інтенсивність забору води з водотоків та скиду в них води), допустимі границі зміни рівня ґрунтових вод (РГВ) (на системі і прилеглих територіях) та вибрати необхідний комплекс інженерних, сільськогосподарських й інших заходів захисту в складі проекту меліорації земель.

Одним з найбільш придатних для сучасної практики проектування меліорацій критерієм оцінки ґрунтово-меліоративних умов і потреб ґрунтоутворюючого процесу у водних меліораціях є *гідротермічний коефіцієнт* («радіаційний індекс сухості»)  $\bar{R}$  (Айдаров І.П. та ін., 1990)

$$\bar{R} = \frac{R}{L \cdot P}, \quad (6.1)$$

де  $R$  – радіаційний баланс поверхні ґрунту, кДж/см<sup>2</sup> · рік;

$L$  – прихована теплота пароутворення, кДж/см<sup>2</sup> · рік на 1 мм шару води;

$P$  – атмосферні опади, мм.

При цьому вони підкреслюють, що більш точно слід визначати  $\bar{R}$  за відношенням до кількості води, яка надійшла в ґрунт.

Другою найважливішою характеристикою умов ґрунтоутворення є витрати сонячної енергії на ґрунтоутворення  $Q$

$$Q = R \cdot e^{-\gamma \cdot \bar{R}}, \quad (6.2)$$

де  $\gamma$  – постійна для ґрунтово-кліматичної зони величина (при  $\bar{R} = 0.5$ ,  $\gamma = 2.2$ ; при  $\bar{R} = 1.0$ ,  $\gamma = 1.0$ ;  $\bar{R} = 1.5$ ,  $\gamma = 1.5$ ).

За тим вони відмічають, що в тісному зв'язку зі значеннями  $\bar{R}$  і  $Q$  знаходяться основні властивості ґрунтів у природно-кліматичних зонах. Оптимальними є умови, коли  $\bar{R} \approx 1.0$ . У такому разі процеси масо- й енергопереносу збалансовані, а ґрунти представлені різними типами родючих чорноземів.

Головними показниками біологічного кругообігу на сільськогосподарських угіддях є врожайність  $Y$  та енергія ґрунтоутворення  $Q$ . Обидва ці показники залежать від гідротермічного коефіцієнта  $\bar{R}$ , який слід розуміти не стільки як природну характеристику місцевості, скільки як регульовану за допомогою меліорацій величину.

Тоді аналогічно до (6.1)

$$\bar{R} = \frac{R}{L \cdot (P + M - B + V^{\uparrow})}, \quad (6.3)$$

де  $M$  – зволожувальна вода, мм;

$V^{\uparrow}$  – об'єм капілярного живлення ґрунту з боку ґрунтових вод, мм (якщо в цілому за рік у водообміні  $V$  переважає капілярне живлення з величиною  $V^{\uparrow}$  залежно від глибини РГВ і водного режиму ґрунту; при глибокому РГВ або промивному режимі  $V^{\uparrow} = 0$ );

$B$  – відтік поверхневих вод, мм.

Складові виразу (6.3) необхідно оцінювати за теплу пору року – період вегетації рослин і найбільш інтенсивних процесів ґрунтоутворення.

Залежність  $Q$  від  $\bar{R}$  подана рівнянням (6.2). Зв'язок між врожайністю  $Y$  та індексом  $\bar{R}$  можна знайти, використовуючи залежність  $Y$  від радіаційних умов та факторів родючості ґрунту, зокрема від його водного режиму

$$Y = Y_{\max} \cdot k_e \cdot k_s, \quad (6.4)$$

де  $Y_{\max}$  – максимально можлива врожайність за оптимального водного режиму ( $k_e = 1$ ) та відсутності засолення ( $k_s = 1$ ) ґрунтів (вона визначається родючістю ґрунту, біологічними особливостями культури й фізіологічно

активною радіацією  $R_F$  в даній місцевості).

Величина  $R_F$  (кДж/см<sup>2</sup> · рік) також залежить від  $R$

$$R_F \approx R + 54. \quad (6.5)$$

Характер залежності врожайності  $Y$  від водного режиму ґрунту (вологості  $W$  та РГВ  $H_g$ ) має виражений нелінійний характер із зниженням урожайності культур при відхиленні вологості ґрунту й РГВ від оптимальних значень.

Таким чином, водний режим впливає на розвиток рослин і на хімічний режим ґрунту, а гідротермічний індекс  $\bar{R}$  може розглядатись як універсальний показник умов розвитку рослин і ґрунтових процесів.

Показником геологічного кругообігу (а разом з ним і хімічних речовин) є величина водообміну  $V^\uparrow$  між ґрунтовою вологою і ґрунтовими водами, яка також залежить від гідротермічного показника  $\bar{R}$ . Співставлення залежності відносної врожайності  $\bar{Y}$  і зміни енергії ґрунтоутворення  $\bar{Q}$  від  $\bar{R}$  свідчить про невідповідність графіків  $\bar{Y}$  і  $\bar{Q}$ , що зумовлює необхідність оптимізації гідротермічних умов.

При цьому має місце певне протиріччя у виборі для цього показника  $\bar{R}$ . При значеннях  $\bar{R}$ , що відповідають максимуму  $\bar{Y}$ , не забезпечується найбільш інтенсивне використання сонячної енергії на ґрунтоутворення ( $\bar{Q} < I$ ). При досягненні максимуму  $\bar{Q}$  відбувається зниження врожайності ( $\bar{Y} < I$ ).

На підставі викладеного (Айдаров І.П. та ін., 1990) запропоновані такі показники меліоративного режиму, які необхідно використовувати при обґрунтуванні меліорацій в різних природних зонах:

1. Допустимі границі регулювання вологості активного кореневмісного шару ґрунту.
2. Допустима глибина РГВ, що змінюється протягом року, та границі її короточасних підйомів, викликані проведенням зволожувальних заходів або інтенсивними опадами.
3. Спрямованість водообміну між кореневмісним шаром ґрунту і ґрунтовими водами та його інтенсивність.
4. Допустимий вміст токсичних солей в ґрунті, катіонів натрію і магнію у ґрунтовому поглинальному комплексі та реакція  $pH$  ґрунтового розчину.
5. Граничні значення загальної мінералізації поливної води, співвідношення в ній катіонів  $Na$ ,  $Ca$  і  $Mg$ , реакції ґрунту  $pH$ .
6. Комплекс агрохімічних показників родючості ґрунтів і направлений характер їх зміни.

Таким чином, три з розглянутих показників – вологість ґрунту  $W$ , глибина РГВ  $H_g$  і величина водообміну  $V^\uparrow$ , що характеризують водний



режим ґрунтів як визначальну складову загального природно-меліоративного режиму, відіграють провідну роль і в значному ступені зумовлюють інтенсивність біологічного й геологічного кругообігів на меліорованих територіях. При цьому прагнення до підвищення врожайності вирощуваних сільськогосподарських культур й, одночасно, необхідність підвищення родючості ґрунтів та охорони природи викликають суперечливі потреби регулювання таких показників.

Тому необхідна оптимізація природно-меліоративного режиму взагалі, яка повинна базуватись, насамперед, на довготерміновому прогнозі водно-повітряного режиму ґрунтів для різних альтернативних варіантів типів і конструкцій гідромеліоративних систем на стадії проектування їх будівництва чи реконструкції та схем роботи при експлуатації за визначених природно-господарських умов меліорованих територій шляхом застосування відповідних методів і прогнозно-оптимізаційних моделей, а також необхідних показників і критеріїв оцінки.

## 6.2. Структура наскрізної оптимізації в системі ефект-режим-технологія-конструкція

Головним завданням сільськогосподарських гідротехнічних меліорацій є розробка і реалізація комплексу агро-меліоративних заходів, технічних і технологічних розв'язань з регулювання умов розвитку вирощуваних культур і, в першу чергу, водно-повітряного режиму як визначальної складової загального природно-меліоративного режиму.

Критеріями необхідності, ефективності й доцільності проведення гідромеліоративних заходів виступає урожай вирощуваних культур та створюваний екологічний ефект від впливу системи на оточуюче середовище.

Тому, оскільки в складних природно-технічних системах чітко простежується структурний зв'язок виду

*ефект ⇔ режим ⇔ технологія ⇔ конструкція,*

то стосовно розглянутої проблеми оптимізації водного і загального природно-меліоративного режимів і застосуванні принципів системного підходу до її розв'язання як складної проблеми міждисциплінарного характеру, вважаємо, що в основу прийняття оптимальних *технологічних* (способи, режими, схеми) і *технічних* (тип, конструкція, параметри тощо) *рішень* з водорегулювання осушуваних земель при проектуванні та експлуатації меліоративних систем має бути покладене наступне співвідношення у вигляді ієрархічної блочної структури

*(врожай ⇔ екологічний ефект) ⇔ (природно-меліоративний режим) ⇔ (спосіб, режим, схема регулювання) ⇔  
⇔ (тип, конструкція, параметри, схема роботи ГМС).*

Складові такого структурного співвідношення взаємозумовлені й взаємозв'язані між собою (рис. 6.1).

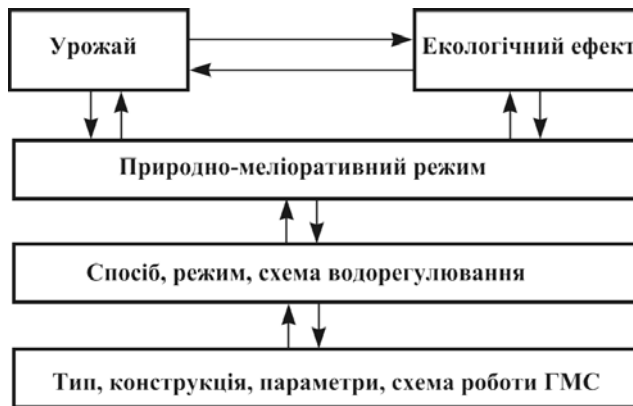


Рис. 6.1. Основні складові прийняття технічних і технологічних рішень в меліорації та структура їх зв'язку

Тут блок «*Природно-меліоративний режим*» відіграє ключову роль, оскільки визначає загальний еколого-економічний ефект, з одного боку, а також технічні і технологічні рішення для його забезпечення - з іншого. При цьому можуть бути розглянуті вже не тільки *необхідність* гідромеліоративних заходів та технічні й природно-господарські можливості, а, зрештою, також загальна еколого-економічна *доцільність* їх реалізації через оцінку створюваного ними реального ефекту.

На жаль доводиться констатувати, що необхідний сучасний рівень еколого-економічної доцільності реалізації меліоративних заходів все ще не досягнутий. Головна причина такого стану справ, на наш погляд, полягає у тому, що через низку обставин різного характеру за минулий період розвитку меліорацій в країні, при всіх досягнутих успіхах в галузі, так і не був ліквідований розрив зв'язку між такими складовими основоположного структурного співвідношення як урожай, екологічний ефект, природно-меліоративний режим, з одного боку, та спосіб, режим, схема регулювання, тип, конструкція, параметри, схема роботи ГМС – з іншого.

Тут мається на увазі, що питання розробки типів, конструкцій ГМС та їх складових гідротехнічних споруд тощо, а також методи їх проектування, розрахунку, виготовлення і будівництва мали переважне і пріоритетне значення стосовно питань формування врожаю культур та екологічного ефекту залежно від застосування різних способів (схем) регулювання й створення, цим самим, відповідних природно-меліоративних режимів. Крім того, означені питання розроблялись фахівцями різного профілю: інженерно-технічного в першому випадку і природно-фізичного та біологічного - у другому, часто без відповідного узгодження і подальшого взаємного використання отриманих результатів.

І тільки в останні десятиріччя з'явилися наукові розробки, переважно пошукового і постановочного характеру, що стосуються питань оптимізації технічних і технологічних рішень на основі їх взаємозв'язку з питаннями

оптимізації природно-меліоративних режимів при створенні й функціонуванні меліоративних систем через виникнення широкого кола гострих проблем, передусім в зоні зрошувальних меліорацій (дефіцит водних ресурсів, підтоплення, збільшення об'ємів неефективного використання зрошувальної води і, пов'язана з цим, перевитрата все дорожчаючих енергетичних, водних й інших ресурсів, деградація меліорованих ґрунтів і т.д.).

В зоні осушувальних меліорацій сформульована проблема набула особливої актуальності десь з середини 80-х років. Водний режим ґрунтів в зоні достатнього та нестійкого зволоження, нарівні з видом ґрунтів, рельєфом місцевості, гідрологічними та гідрогеологічними умовами, видом і фазою розвитку вирощуваних сільськогосподарських культур, що виступають як фон, зумовлений переважно кліматичними або метеорологічними (динамікою і співвідношенням випадаючих атмосферних опадів і випаровування) та меліоративними (способами його регулювання) факторами.

Прогнозна оцінка водного режиму залежно від визначаючих його природно-меліоративних факторів та прийняття на їх основі оптимальних рішень з водорегулювання в різні етапи створення і функціонування меліоративних систем взагалі є необхідною умовою вирішення ряду завдань з підтримання сприятливого водно-повітряного режиму і загального природно-меліоративного режиму осушуваних земель в період росту і розвитку культур, раціонального використання земельних, водних, енергетичних й інших ресурсів в межах системи і на прилеглий до неї території.

Теоретичною основою для створення таких моделей має бути формалізація сформульованого концептуального підходу щодо необхідності ув'язки рівня технічної досконалості й вартості меліоративних об'єктів з відповідним рівнем загальної еколого-економічної ефективності від їх функціонування.

За Є.П. Галяминим в гідромеліораціях ефект за продуктивністю вирощуваних культур може бути виражений у найпростішому вигляді функцією виду  $y_k(\Phi_k)$ , де  $\Phi_k$  – кількість води, яка подається або відводиться на меліорованих землях. У діапазоні допустимих значень кожного екологічного фактора впливу функція відгуку (врожай) залежить від конкретного його значення (параметра). Отже функція  $y_k(\Phi_k)$  повинна відшукуватись лише як зріз багатомірної функції  $y_k(\Phi_k, X)$ , де  $X = \{x_i\}$  – вектор факторів зовнішнього середовища, тобто при кожному зрізі  $X$  повинна бути своя функція  $y_k(\Phi_k)$ . На думку Є.П. Галямина, навіть такий важкореалізуємий підхід є значним спрощенням відображення функціонування реального об'єкта, оскільки більшість факторів зовнішнього середовища не може бути охарактеризована однозначно (тобто одним числом чи параметром).

При цьому слід зазначити, що розглянута функція по-суті відображає лише одну ланку зв'язку виду **врожай-режим** і практично не враховує технологічний та технічний аспекти впливу водорегулювання на створюваний ефект. Останні, в свою чергу, також розроблялись різними дослідниками без урахування на належному рівні впливу на створюваний еколого-економічний ефект від їх реалізації.

Тому в розвиток даного підходу та для формалізації більш універсального за своїм характером запропонованого основоположного структурного співвідношення (див. рис. 6.1) доцільно представити його як

**параметри ефекту  $\Leftrightarrow$  параметри режиму  $\Leftrightarrow$**

**$\Leftrightarrow$  параметри технології  $\Leftrightarrow$  параметри конструкції.**

Звідси, ввівши необхідні позначення, функціональний зв'язок між його складовими у загальному випадку може бути представлений як складена функція виду

$$y_i = f_1(f_2(f_3(x_i))), \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (6.6)$$

де  $y_i$  – параметри загального еколого-економічного ефекту  $FE_i$ , який складається з параметрів продуктивності (врожайності) вирощуваних сільськогосподарських культур  $FY_k$ ,  $k = \overline{1, n_k}$ ;  $i = \overline{1, n_i}$  та відповідних параметрів створюваного екологічного ефекту  $FZ_{ji}$ ,  $j = \overline{1, n_j}$ ;  $i = \overline{1, n_i}$ ;

$f_1$  – функція, що залежить від параметрів природно-меліоративних режимів  $FR_i$ ,  $i = \overline{1, n_i}$ ;

$f_2$  – функція, що залежить від параметрів застосовуваних технологій водорегулювання  $FS_i$ ,  $i = \overline{1, n_i}$ ;

$f_3$  – функція аргументів  $x_i$ , яка залежить від параметрів конструктивних рішень меліоративних систем  $FK_i$ ,  $i = \overline{1, n_i}$  щодо реалізації відповідних технологій водорегулювання на меліорованих землях;

$i$  – сукупність  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$  можливих варіантів функціонування меліоративної системи як складної природно-технічної системи, тобто реалізації відповідних технічних і технологічних рішень з водорегулювання осушуваних земель у відповідних природно-агро-меліоративних умовах реального об'єкта.

Перелічені функції  $f_1 \dots f_3$  є функціями складних взаємозв'язаних аргументів, тобто

$f_3(x_i)$  – як функція, що залежить від параметрів конструкції;

$f_2(f_3(x_i))$  – як функція, що залежить від параметрів технології;

$f_1(f_2(f_3(x_i)))$  – як функція, що залежить від параметрів режимів.

Тоді пошук параметрів складових складеної функції (6.6) і, в першу чергу, параметрів технологічних і технічних рішень щодо способів, режимів і схем водорегулювання осушуваних земель та пов'язаних з ними типу й конструкції меліоративних систем, а також складових їх технічних елементів (дренаж, канали, трубопроводи, регулюючі гідротехнічні споруди, насосні станції тощо), залежно від створюваного загального еколого-економічного ефекту формально може бути здійснений з виразу (6.6) через відповідні обернені функції. А саме:

- щодо параметрів режимів  $FR_i, i = \overline{1, n_i}$

$$f_2(f_3(x_i)) = f_1^{-1}(y_i), \quad i = \overline{1, n_i}; \quad (6.7)$$

- щодо параметрів технологій  $FS_i, i = \overline{1, n_i}$

$$f_3(x_i) = f_2^{-1}(f_1^{-1}(y_i)), \quad i = \overline{1, n_i}; \quad (6.8)$$

- щодо параметрів конструкції  $FK_i, i = \overline{1, n_i}$

$$x_i = f_3^{-1}(f_2^{-1}(f_1^{-1}(y_i))), \quad i = \overline{1, n_i}. \quad (6.9)$$

В основу реалізації складених функцій (6.6)–(6.9) мають бути покладені дослідження закономірностей взаємозв'язаних процесів руху води у всіх різних за своєю природою складових елементах (підсистемах) меліоративної системи як складної природно-технічної системи.

І хоча розглянуті складені функції (6.6)–(6.9) на даному етапі досліджень не можуть бути досить адекватно виражені аналітично, все ж вони теоретично обґрунтовують можливість постановки задачі й пошуку оптимальних параметрів конструктивних і технологічних рішень з водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах, бодай на емпіричному або навіть на значно об'єктивнішому емпірико-функціональному рівні визначення залежності між ними.

### 6.3. Критерії економічної та екологічної ефективності гідромеліорацій

Головним питанням при постановці оптимізаційних екстремальних задач є вибір критерію оптимальності, який повинен давати змогу кількісно підходити до аналізу і прогнозування дієвості всіх елементів системи та альтернативних рішень, що розглядаються.

Обґрунтування економічних критеріїв оптимальності потребує розгляду й формулювання відповідно *глобального* та *локального* критеріїв.

Глобальний критерій, який мінімізує сукупні затрати суспільної праці на виробництво суспільно необхідної продукції, служить тим самим мірилом сукупної суспільної ефективності функціонування народного господарства і відповідає вимогам основного економічного закону.

В якості локальних критеріїв оптимальності встановлення параметрів систем на практиці найчастіше використовують максимум прибутку і

мінімум приведених витрат, інколи – векторну оптимізацію або оптимізаційну модель з векторною цільовою функцією.

На *стадії проектування* нового будівництва або реконструкції існуючої системи, згідно загальноприйнятих рекомендацій і діючих нормативних документів, за загальний економічний критерій оптимізації традиційно приймаються **приведені витрати**  $Z$ , зведені до порівняльного вигляду  $ZP$  за обсягом (вартістю)  $V$  отримуваної продукції у варіантах технічних рішень сукупності  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$  – типах і конструкціях ГМС, зумовлених прийнятими способами і схемами водорегулювання

$$ZP_i = Z_i \cdot k_{Z_i}^V = (C_i + E_n K_i) / V_i, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (6.10)$$

де  $k_{Z_i}^V$  – коефіцієнт зведення приведених витрат  $Z_i$  за обсягом (вартістю)  $V_i$  отриманої продукції по варіантах технічних рішень сукупності  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$ , який може бути поданий як обернене співвідношення  $1/V_i$ ;

$C_i$  – поточні витрати на отримання продукції по варіантах технічних рішень;

$E_n$  – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень  $K_i$  за відповідними варіантами технічних рішень.

Умовою оптимізації в цьому випадку виступає мінімізація показника приведених витрат, тобто

$$ZP_i \rightarrow \min, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (6.11)$$

а функцією цілі

$$ZP_0 = \min_{\{i\}} ZP_i, \quad i = \overline{1, n_i}. \quad (6.12)$$

У виразі (6.10) поточні витрати  $C_i$  на отримання продукції складаються із сільськогосподарських  $C_i^{cs}$  і експлуатаційних  $C^e$  витрат. Останні включають відрахування на амортизацію і ремонт  $A_i$  та меліоративні витрати  $C_i^m$  на догляд за системою.

Надзвичайно важливим аспектом проблеми вибору економічно й екологічно оптимального для реалізації варіанту меліоративного проекту на довготерміновій основі є необхідність урахування впливу мінливості погодно-кліматичних умов на формування обраних критеріїв якості, за якими обґрунтовуються інженерні рішення при проектуванні меліоративних систем.

**Погодно-кліматичний ризик** ( $R$ ) – це невизначеність й циклічність природно-кліматичних умов функціонування меліоративного проекту за місцем його розташування та коливання метеорологічних умов по роках. Він може виступати як узагальнюючий показник (критерій) економічної ефективності в складних ПТС.

Таким чином, в якості критерію оптимальності водорегулювання осушуваних земель на стадії будівництва та реконструкції меліоративних систем доцільно використовувати показник приведених затрат з урахуванням погодно-кліматичного ризику

$$ZP_i = C_i + E_n \cdot K_i + R_i, \quad i = \overline{1, n_i}. \quad (6.13)$$

Погодно-кліматичний ризик визначається за такою статистичною моделлю

$$R_i = \sqrt{V_i - \hat{V}_i}, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (6.14)$$

де  $V_i$  – вартість валової продукції за фактичною врожайністю, отриманою за  $i$ -тим варіантом проектного рішення;

$\hat{V}_i$  – вартість валової продукції за потенційно можливою врожайністю на об'єкті.

Тоді, з урахуванням викладеного

$$ZP_0 = \min_{\{i\}} \left\{ \left[ (A_i + C_i^{cz} + C_i^m) + E_n K_i + R_i \right] / V_i \right\}, \quad i = \overline{1, n_i}. \quad (6.15)$$

Основними вихідними даними та змінними умовами у схематизованому вигляді для розробки ЕММ оптимізації водорегулювання осушуваних земель на довготерміновій основі за (6.15) є сукупності таких факторів:  $\Omega = \{\omega\}$ ,  $\omega = \overline{1, n_\omega}$ ;  $P = \{p\}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$ ;  $G = \{g\}$ ,  $g = \overline{1, n_g}$ ;  $L = \{l\}$ ,  $l = \overline{1, n_l}$ ;  $Q = \{k\}$ ,  $k = \overline{1, n_k}$ ;  $S = \{s\}$ ,  $s = \overline{1, n_s}$  тощо.

Обґрунтування визначеної сукупності показників (критеріїв) водного і загального природно-меліоративного режимів осушуваних земель є необхідною умовою реалізації комплексних моделей оптимізації за різнорідними показниками шляхом непрямої оцінки екологічної прийнятності гідромеліоративних заходів

Складність досліджуваного об'єкта, яким є водний режим ґрунтів, зумовила виникнення різних підходів і розробку значної кількості показників, які умовно об'єднані в три наступні групи: *меліоративну*, *кліматичну* і *комбіновану*.

До *меліоративної групи* можуть бути віднесені такі загальноновживані показники як вологість або вологозапаси ґрунту, глибина рівня ґрунтових вод (РГВ), вологообмін активного шару ґрунту з нижче розташованими шарами та РГВ, витрати води на зволоження, врожай вирощуваних культур тощо.

До *кліматичної групи* можуть бути віднесені такі загальновідомі показники, що враховують комплексність визначальних факторів, як «коефіцієнт водного балансу» О.М. Костякова, «гідротермічний коефіцієнт» Г.Т. Селянінова, показник зволоженості Д.І. Шашко й ін. Усі ці показники розглядають різні види співвідношення між такими основними метеорологічними елементами як опади, температура й дефіцит вологості

повітря.

*Комбінована група* – це комбіновані показники, які враховують і поєднують у собі як меліоративні, так і кліматичні чинники. Представниками таких показників є «радіаційний індекс сухості», «коефіцієнт зволоження» С.А. Сапожникової, «індекс вологості» О. Бішного, «коефіцієнт вологозабезпеченості» С.І. Харченка, «показник посушливості» Д.А. Педю, «метеорологічний індекс» М.О. Багрова та ін.

Усі ці показники надзвичайно важливі і потрібні, тому рекомендується для використання наступна сукупність показників, які висвітлюють різні сторони складного характеру умов формування водного режиму осушуваних земель під дією кліматичних і меліоративних факторів й можуть бути визначені на стадії проекту за довготерміновим прогнозом:

$Hg$  – глибина РГВ (середня за період вегетації), м;

$\beta_g^{wh}$  – відносний (відношення фактичної до оптимальної) показник вологості найбільш активного (розрахункового) шару ґрунту  $h$  (середній за період вегетації);

$N^t$  – показник надійності (тривалості) підтримання сприятливого водного режиму активного шару ґрунту протягом періоду вегетації, %;

$N^k$  – аналогічний показник надійності щодо критичного періоду розвитку (відповідно найбільшого водоспоживання) вирощуваних культур, %;

$WPh + M$  – сумарна за вегетацію величина живлення активного шару ґрунту  $h$  з нижче розташованих шарів й РГВ ( $VPh$ ) та витрат води на зволоження осушуваних земель ( $M$ ) відповідним способом, мм;

$\beta_k^y$  – відносний (відношення фактичного до потенційно можливого або максимально досягнутого врожаю) показник урожаю вирощуваних культур;

$Vh$  – водообмін активного шару ґрунту  $h$  з нижче розташованими шарами й РГВ (сумарний за вегетацію), мм;

$WMI$  – комплексний природно-меліоративний показник вологозабезпеченості активного шару ґрунту  $h$  за період вегетації;

$KKД \Phi AP$  – фактичне значення коефіцієнту корисної дії (ККД) використання фотосинтетичноактивної радіації (ФАР) вирощуваною культурою, %;

$fr$  – відносний рівень погодно-кліматичного ризику щодо врожайності.

Глибина РГВ  $Hg$  і вологість  $W$  найбільш активного шару ґрунту  $h = 0,4 \dots 0,6$  м, представленої для більшої показовості і зручності порівняння у відносному вигляді як  $\beta_g^{wh}$ , є основними загальноприйнятими показниками, за допомогою яких традиційно виконується оцінка і характеризується водний режим осушуваних земель. Але середні значення цих показників у цілому за період вегетації не відображають динамічний



характер їх зміни в часі під дією зовнішніх факторів.

Для усунення цього недоліку доцільно використовувати *показник надійності* (тривалості) підтримання сприятливого водного режиму активного шару ґрунту  $h$  у цілому за період вегетації  $N^t$  і за критичний, щодо фенологічних фаз розвитку (фази цвітіння й дозрівання) та формування врожаю культур, період  $N^k$ . Він визначається як відсоток (%) або частка тривалості підтримання сприятливого водного режиму в межах відповідного розрахункового періоду.

Нарівні з показником вологообміну  $\pm Vh$ , що визначається як результуюча між інфільтрацією (–)  $VPh$  та живленням (+)  $VP_h$  активного шару ґрунту  $h$  – і є загальною характеристикою напрямку, величини й інтенсивності геологічного кругообігу води на меліорованих землях – розглядається для оцінки різних способів зволоження осушуваних земель (підґрунтове зволоження і зрошення дощуванням) сумісний показник ( $VP_h + M$ ). Він характеризує сумарну за вегетацію величину живлення активного шару ґрунту  $h$  з нижче розташованих шарів та РГВ ( $VP_h$ ) і витрат води на зволоження ( $M$ ) осушуваних земель відповідним способом.

Урожай вирощуваних культур, представлений у відносному вигляді як  $\beta_k^Y$ , виступає як інтегральний показник біологічного кругообігу на меліорованих землях і також використовується для оцінки ефективності їх водорегулювання.

*Комплексний природно-меліоративний показник вологозабезпеченості ґрунту  $WMI$* , введений як водобалансовий аналог «радіаційного індексу сухості». Останній може бути використаний як один з найбільш придатних критеріїв загальної оцінки ґрунтово-меліоративних умов і потреб ґрунтоутворюючого процесу у водних меліораціях.

Даний показник обчислюється за такою формулою

$$WMI = \frac{EV}{(\overline{WPh} + P \pm Vh + M)}, \quad (6.16)$$

де  $EV$  – потенційно можлива величина сумарного випаровування за період вегетації, мм;

$\overline{WPh}$  – середня за вегетацію фактична величина запасу продуктивної вологи в активному шарі ґрунту  $h$ , мм;

$P$  – сумарна величина опадів за період вегетації, мм.

Показники врожайності та родючості доцільно доповнити показником погодно-кліматичного ризику щодо врожайності, який може бути представлений як відносне відхилення фактичного врожаю за варіантом його отримання від потенційно можливого його значення на даному об'єкті в результаті невідповідності реальних метеорологічних умов щодо оптимальних

$$f_i = \frac{\sqrt{\sum_{p=1}^{n_p} (Y_{ip} - \bar{Y}_p)^2 \cdot \alpha_p}}{\bar{Y}_p} \cdot 100, \%, \quad (6.17)$$

де  $Y_{ip}$ ,  $\bar{Y}_p$  – відповідно фактичний та потенційний (кліматично та агротехнічно забезпечений) врожай вирощуваної культури в заданих умовах.

Усі розглянуті показники та їх складові можуть бути визначені експериментально або за відповідними моделями прогностичної оцінки водного і загального природно-меліоративного режимів та врожаю вирощуваних культур на осушуваних землях.

Розглянуті показники мають досить високий рівень сполученості між собою, враховують динаміку й комплексність досліджуваних процесів і досить адекватно відображають різні сторони формування й виявлення водного та загального природно-меліоративного режимів за різних природно-меліоративних умов як складного природно-техногенного явища. Вони можуть бути використані у будь-якому сполученні, залежно від вирішуваного завдання, як критерії екологічної ефективності в комплексних моделях оптимізації водорегулювання осушуваних земель.

Згідно розроблених принципів побудови загальних моделей оптимізації водорегулювання осушуваних земель на довготерміновій основі раціональні (прийнятні) проектні рішення за екологічними вимогами визначаються на основі застосування розглянутої сукупності фізичних показників. Але при цьому слід зазначити, що застосування методу багатокритеріальної оцінки має виражений суб'єктивний характер, а точність самої оцінки значною мірою залежить від рівня фахової підготовки та досвіду проектувальника. У зв'язку з цим, представляють інтерес інші підходи, які дають змогу звести множину досліджуваних факторів до спрощеного узагальненого вигляду.

#### **6.4. Підходи до розробки методів оптимізації технічних і технологічних розв'язань з водорегулювання меліорованих земель на різних рівнях прийняття рішень в часі**

Сучасні меліоративні об'єкти характеризуються широким набором відмін у ґрунтових, рельєфних й інших умовах, що потребує при їх проектуванні та експлуатації часто сполучати різні способи водорегулювання в межах однієї системи. Тобто постає питання, якою повинна бути система, проект будівництва або реконструкції якої розглядається: тільки осушувальною чи односторонньою дією; осушувально-зволожувальною (зрошувальною) чи двосторонньою дією; проміжного типу – осушувальною з попереджувальним шлюзуванням і т.д.

Така постановка питання справедлива й при визначенні оптимальної схеми роботи існуючої системи при її експлуатації, коли необхідно вибрати оптимальні способи і режими водорегулювання на полях системи, зайнятих

різними культурами з різними стосовно необхідного водного режиму їх вимогами.

Тому остаточний вибір способів водорегулювання й пов'язаних з ними типу, конструкції і схеми роботи ГМС можуть бути виконані тільки на підставі **техніко-економічного обґрунтування** (ТЕО) оптимальних рішень шляхом порівняння можливих їх альтернативних варіантів (способів і схем водорегулювання) на об'єкті, що розглядається, за допомогою прогнозно-оптимізаційних розрахунків, які базуються на реалізації комплексу субмоделей з прогносної оцінки основних природно-меліоративних факторів і режимів, їх впливу на врожай вирощуваних сільськогосподарських культур та створюваний екологічний ефект.

Практика проведення меліорацій та набутий досвід показують, що особливість розв'язування цих задач тісно зв'язана з природною сезонною циклічністю сільськогосподарського виробництва на меліорованих землях, що дозволило виділити три «часові рівні» за ознакою розподілу в часі між моментом прийняття і моментом виникнення післядій прийнятого рішення.

**Перший рівень** – прийняття багаторічних перспективних і проектних розв'язань про проведення меліоративних заходів на сільськогосподарських угіддях, тобто обґрунтування необхідності і доцільності будівництва нової або реконструкції існуючої системи, післядії яких можуть виявлятися через декілька років і навіть десятиріччя.

Цей рівень потребує створення моделі управління на базі довготермінового прогнозу ефективності роботи системи за різних природно-меліоративних умов з урахуванням мінливості їх в часі та післядії меліорацій.

**Другий рівень** – прийняття рішень з технологічної підготовки до наступного сезону шляхом розробки системних планів водорегулювання при експлуатації існуючої системи під заплановані види, структуру посівів і врожай вирощуваних культур та ресурсне забезпечення для його отримання.

Цей рівень потребує створення моделі управління, яка б дозволила спрогнозувати й оцінити можливості досягнення планових показників в умовах невизначеності щодо того, яким буде наступний сезон стосовно метеорологічного режиму (умов тепло- й вологозабезпеченості).

Тому для цього рівня також необхідний прогноз природно-меліоративних режимів на довготерміновій основі з метою розробки стратегії управління системою в різні (типові або розрахункові) за умовами тепло- й вологозабезпеченості періоди вегетації.

**Третій рівень** – прийняття рішень в умовах поточного періоду вегетації при функціонуванні діючої системи.

Цей рівень потребує створення моделі управління, яка дозволяє реалізувати оперативні методи оптимізації продукційного й виробничого процесів на меліорованих землях на базі використання методів короткотермінових прогнозів природно-меліоративних факторів та їх впливу на врожай вирощуваних культур і створюваний екологічний ефект в межах системи та прилеглої території.

Всі три рівні взаємозв'язані, однак і мають відносну самостійність. Тому для кожного рівня необхідно розробляти суттєво різні моделі оптимізації технічних і технологічних розв'язань та прогнозної оцінки ефективності водорегулювання щодо сформульованих цілей, обраних критеріїв оптимізації, а також структури розрахунків з їх реалізації.

Залежно від рівня прийняття рішень в часі можна з різним ступенем деталізації й, відповідно до цього, різним рівнем складності використовуваних моделей, обґрунтовувати та оптимізувати природно-меліоративні режими сільськогосподарських угідь, технічні і технологічні рішення для їх реалізації.

**Перший рівень** включає в себе довгострокові перспективні розробки на *стадії схеми* та *стадії проекту*. На *стадії схеми* доцільно застосовувати наближені підходи, що спрямовані на обґрунтування концепції управління природно-меліоративними режимами сільськогосподарських земель, а також границь регулювання його показників. В підсумку цих робіт визначаються допустимі границі зміни показників режимів регулювання.

Досвід застосування таких підходів дозволяє в першому наближенні кількісно оцінити ці показники в різних природно-кліматичних зонах і намітити найбільш раціональні шляхи покращення меліоративного стану сільськогосподарських земель.

На *стадії проектів* нового будівництва і реконструкції існуючих систем шляхом виконання більш детальних розрахунків для різних варіантів систем повинна проводитися оптимізація природно-меліоративних режимів осушуваних земель, яка полягатиме, головним чином, в оптимізації режимів водорегулювання в межах визначених норм відведення надлишкової і подавання при необхідності додаткової води на зволоження, а також оптимізації параметрів складових елементів і системи в цілому разом з комплексом інших заходів з регулювання біологічного й геологічного кругообігів води та хімічних речовин.

Завдяки цьому необхідно обґрунтувати й визначити оптимальне рішення з типу, конструкції та параметрів ГМС, що зумовлені прийнятим способом (схемою) водорегулювання на системі за наявних природно-господарських умов.

На **другому рівні** прийняття рішень, тобто на *стадії технологічної підготовки* системи до наступного сезону, обґрунтовуються планові технології з водорегулювання на системі в наступному сезоні.

Вирішення цього питання можливе також тільки завдяки виконанню детальних прогнозних режимних розрахунків на довготерміновій основі для різних альтернативних варіантів схем водорегулювання (розгляд різних комбінацій застосування можливих способів водорегулювання осушуваних земель по полях системи, зайнятих посівами вирощуваних культур) й вибору оптимальної з них для кожного з прийнятої сукупності типових (або розрахункових) за умовами тепло- й вологозабезпеченості періодів вегетації.

Ці розв'язання, як правило, не реалізуються безпосередньо, а лише правлять за основу розробки системних планів водорегулювання для типових метеорологічних умов функціонування системи, завдяки чому можливо отримати оцінку того рівня врожайності та екологічного ефекту, на який необхідно орієнтувати всю технологію водорегулювання.

Зрештою, реалізація всіх необхідних і можливих агротехнічних та меліоративних заходів здійснюється на *третьому рівні* прийняття рішень - стадії *оперативного управління* системою.

Тут повинне виконуватись корегування планових показників реалізації технічних і технологічних розв'язань, прийнятих на попередніх етапах, з урахуванням наявної поточної метеорологічної та гідролого-меліоративної обстановки на системі.

Цей рівень є найвідповідальнішим, оскільки зумовлює остаточний результат прийняття рішень на двох попередніх рівнях. Він також є і найскладнішим внаслідок необхідності розробки такого комплексу моделей, методів їх реалізації та інформаційного забезпечення, які б дозволяли виконувати прогнозу оцінку та оптимізацію природно-меліоративного режиму осушуваних земель, його впливу на умови формування врожаю культур та створюваний при цьому екологічний ефект в оперативному режимі.

Розглянутий клас задач з прийняття рішень в меліоративному виробництві стосовно часових рівнів тісно пов'язаний з необхідністю формування прогнозів природно-меліоративних режимів різної завчасності. При цьому кліматичні або погодні умови, як складові загального природно-меліоративного режиму, є визначальними.

Відомо, що прогноз погоди на будь-який тривалий термін неможливий. Разом з тим процеси, що відбуваються на меліорованому полі, характеризуються достатньою інерційністю. Вологозапаси в ґрунті не можуть змінюватися миттєво та й самі рослини досить повільно реагують на флуктуацію метеофакторів, якщо вони не виходять за певні визначені межі.

Тому саме властивість інерційності ґрунтів і посівів, а також періодична повторюваність погодних умов, дозволяють виробляти ті чи інші прогнози, не зважаючи на досить сильну мінливість останніх в часі.

Враховуючи викладене, можлива схема видів і структури прогнозу природно-меліоративних режимів (на *довготерміновій* і *короткотерміновій* основі) щодо розглянутих рівнів прийняття рішень в часі при проектуванні та експлуатації меліоративних систем подана на рис. 6.2.

Представлена схема видів і структура прогнозів природно-меліоративних режимів стосовно рівнів прийняття рішень в часі визначає: перші два рівні – проекту та планової експлуатації меліоративних систем – потребують їх на довготерміновій основі; третій рівень – оперативний режим управління системою – на короткотерміновій основі.



Рис. 6.2. Види і структура прогнозу природно-меліоративних режимів стосовно рівнів прийняття рішень в часі

Таким чином, обґрунтування оптимальних проектних рішень на еколого-економічних засадах потребує створення єдиного комплексу ієрархічно зв'язаних моделей параметрів ефекту, режиму, технологій та конструкцій, а тому прогнозні режимні розрахунки за відповідними моделями є обов'язковою та невід'ємною складовою в структурі загальних інженерно-меліоративних розрахунків на всіх рівнях прийняття рішень в часі щодо реалізації гідромеліоративних заходів.

Зрозуміло, що завдання розробити методи і моделі з прогнозової оцінки та оптимізації природно-меліоративних режимів осушуваних земель для всіх трьох рівнів прийняття рішень в часі - задача надзвичайно складна. Тому головним змістом даної роботи є висвітлення можливих підходів і методів з розроблення та реалізації відповідних моделей з виконання прогнозно-оптимізаційних режимних розрахунків на довготерміновій основі при водорегулюванні осушуваних земель для стадій проекту та планової експлуатації меліоративних систем.

Економічний та екологічний ефект від оптимізації природно-меліоративних режимів повинен бути зв'язаний не тільки з економією вартості капітального будівництва чи реконструкції системи, зменшенням поточних меліоративних витрат або продуктивності меліорованих земель, а й з тим природоохоронним ефектом, який взагалі забезпечують комплексні меліорації.

У загальному випадку оптимальні рішення з вибору типу, конструкції, параметрів і схем роботи ГМС визначаються за допомогою порівняння можливих альтернативних варіантів технічних і технологічних розв'язань за відповідно обраними показниками (критеріями) оптимальності, прийнятими функціями цілей через реалізацію так званих **економіко-математичних моделей** (ЕММ) оптимізації. Як такі показники можуть бути розглянуті,

наприклад, мінімальні приведені витрати чи максимальний коефіцієнт загальної економічної ефективності при будівництві або реконструкції системи, мінімальні поточні витрати чи максимальний чистий дохід при функціонуванні існуючих систем тощо.

Тому при техніко-економічному порівнянні варіантів структурної побудови ГМС і схем їх роботи необхідно враховувати не тільки такі вартісні **техніко-економічні показники** (ТЕП) як капітальні вкладення, вартість отриманої продукції, поточні сільськогосподарські й меліоративні (експлуатаційні) витрати, але й оцінювати вартість використаних природних ресурсів (води, ґрунтів тощо), а також можливі витрати на попередження або відшкодування завданих природі збитків внаслідок забруднення дренажним стоком і винесеними з ним органічними та хімічними речовинами водоприймачів, можливої часткової втрати родючості ґрунту, підтоплення або переосушення прилеглих територій.

На жаль, зараз при обґрунтуванні технічних і технологічних розв'язань з водорегулювання осушуваних земель на довготерміновій основі не приділяється належної уваги оцінці використовуваних природних ресурсів і затрат на компенсацію можливих збитків природі. Такий стан справи зумовлений тим, що якщо на цей час питання щодо основних ТЕП (капітальні вкладення, вартість і собівартість вирощуваної продукції тощо) та методи їх визначення вирішене більш-менш в достатній мірі, то аналогічне питання щодо показників екологічної ефективності реалізації гідромеліоративних заходів залишається досить проблематичним через їх остаточну невизначеність взагалі.

Оскільки практично неможливо поєднати в одній економіко-математичній оптимізаційній моделі показники, що виражені у вартісному вигляді і характеризують економічну ефективність меліоративних заходів, разом з фізичними показниками водного і загального природного меліоративного режимів осушуваних земель, які характеризують екологічну доцільність їх реалізації, то питання створення єдиної еколого-економічної оптимізаційної моделі залишається проблематичним і потребує пошуку нових підходів до його вирішення.

Таким чином, з викладеного витікає необхідність розгляду як вже традиційних і широко вживаних в практиці меліорацій методів і моделей з обґрунтування технічних і технологічних розв'язань при проектуванні та експлуатації меліоративних систем, так і застосування для цього також сформульованих поки що на постановочному рівні методів і моделей з прогнозної оцінки ефективності та оптимізації водорегулювання осушуваних земель з урахуванням їх залежності від основних природних (кліматичних, ґрунтових, рельєфних й ін.) і меліоративних (способів водорегулювання) факторів при розв'язуванні такої комплексної і складної проблеми міждисциплінарного характеру.

## 6.5. Моделі оптимізації проектних розв'язань на еколого-економічних засадах

Остаточний вигляд загальних розрахункових моделей оптимізації водорегулювання осушуваних земель на довготерміновій основі для ТЕО оптимальних ТТР при проектуванні та плановій експлуатації меліоративних систем визначається також прийнятою доцільною  $n$ -рівневою структурою виконання оптимізаційних розрахунків залежно від рівня сформульованого завдання – знаходження оптимуму відповідно до ієрархічної структури побудови системи на рівні кожного поля проектної або планової сівозміни, будь-якого структурного елементу (ділянці ССВ в межах МС, підпорядкованій регулюючій чи розподільній гідротехнічній споруді в складі ГМС, а також структурних елементів системи, характерних за рельєфом місцевості, ґрунтово-меліоративними різницями тощо) або системи в цілому.

Оскільки водний режим осушуваних земель реалізується безпосередньо в ССВ та її структурних елементах – меліорованих полях, зайнятих вирощуваними культурами, то застосування системного підходу зумовлює прийняти за доцільне загальну 4-х рівневу структуру оптимізаційних розрахунків. Такий підхід потребує прийняття і реалізації цільової функції за розглянутими критеріями та умовами оптимізації відповідно до об'єкта управління найнижчого рівня – меліорованого поля з вирощуваною на ньому сільськогосподарською культурою проектної сівозміни, маючи на увазі в подальшому сконструювати на базі цього критерію цільову функцію оптимізації водорегулювання сукупності меліорованих полів в межах ССВ або системи в цілому.

Тоді, з урахуванням викладеного та принципів побудови моделей оптимізації, вихідна модель з обґрунтування конструктивних рішень щодо типів, конструкцій та параметрів ГМС в цілому і складових їх технічних елементів (регулюючої і провідної мережі, гідротехнічних споруд, насосних станцій тощо) може мати такий загальний вигляд

$$ZP_0 = \min_{\{s\}} \sum_{s=1}^{n_s} \sum_{l=1}^{n_l} \sum_{g_l=1}^{n_{gl}} \sum_{k=1}^{n_k} ZP_{kgs} \cdot f_k \cdot f_{g_l} \cdot f_l \cdot f_s. \quad (6.18)$$

Практична реалізація загальної моделі оптимізації (6.18) досягається через її формулювання та розв'язок на кожному відповідному рівні ієрархічної структури побудови системи:

– на рівні вирощуваних культур проектної сівозміни сукупності  $\{k\}$ ,  $k = \overline{1, n_k}$  для варіантів проектних рішень за способами водорегулювання  $i = \{s\}$ ,  $s = \overline{1, n_s}$  для кожного  $k = const$

$$ZP_{kg}^0 = \min_{\{s\}} ZP_{kgs}, \quad k = \overline{1, n_k}; \quad g = \overline{1, n_g}; \quad s = \overline{1, n_s}, \quad (6.19)$$

де



$$ZP_{kgs} = \sum_{p=1}^{n_p} 1/V_{kpgs} \left( A_s + C_{kpgs}^{cz} + C_{kpgs}^M + E_n K_s + R_{kpgs} \right) \cdot \alpha_p, \\ k = \overline{1, n_k}; g = \overline{1, n_g}; s = \overline{1, n_s}; \quad (6.20)$$

– на рівні ґрунтів у межах системи сукупності  $\{g\}, g = \overline{1, n_g}$

$$ZP_g^0 = \min_{\{s\}} \sum_{k=1}^{n_k} ZP_{kgs} \cdot f_k, g = \overline{1, n_g}; s = \overline{1, n_s}; \quad (6.21)$$

– на рівні структурних елементів системи за характерними умовами (рельєфними, ґрунтово-меліоративними тощо) сукупності  $\{l\}, l = \overline{1, n_l}$

$$ZP_l^0 = \min_{\{s\}} \sum_{g=1}^{n_{gl}} ZP_{gls} \cdot f_{gl}, l = \overline{1, n_l}; s = \overline{1, n_s}; \quad (6.22)$$

– на рівні системи для варіантів проектних рішень за схемами водорегулювання  $i = \{s\}, s = \overline{1, n_s + m}$

$$ZP_0 = \min_{\{s\}} \sum_{l=1}^{n_l} ZP_{ls} \cdot f_l, s = \overline{1, n_s + m}. \quad (6.23)$$

При необхідності модель обґрунтування розрахункової забезпеченості реалізується як

$$p_0 = \min_{\{p\}} ZP_{0p}, p = \overline{1, n_p}. \quad (6.24)$$

Загальна еколого-економічна оптимізація проектних рішень з водорегулювання осушуваних земель реалізується за умови дотримання обмеження, що коефіцієнт екологічної надійності ( $k_n$ ) за відповідним  $i$ -м варіантом знаходиться в інтервалі значень

$$0,5 < k_{n_i} \leq 1,0 \quad (6.25)$$

Розглянуті вихідні моделі у подальшому уточнюються і набувають остаточного вигляду залежно від рівня і виду вирішуваних прогнозно-оптимізаційних задач на довготерміновій основі в проектах будівництва, реконструкції та модернізації меліоративних систем на осушуваних землях.

У свою чергу, реалізація моделей оптимізації водорегулювання осушуваних земель спирається на комплекс імітаційних моделей з прогнозно-оцінки на довготерміновій основі погодно-кліматичних умов місцевості за розрахунковою тепло- й вологозабезпеченістю періодів вегетації, водного режиму та технологій водорегулювання, а також продуктивності меліорованих земель. Необхідні розрахунки за означеними моделями регламентовано вже діючими та створюваними галузевими нормативами:

1. Меліоративні системи та споруди : посібник до ДБН В.2.4-1-99. (Розділ 3. Осушувальні системи). *Обґрунтування ефективної проектної врожайності на осушуваних землях при будівництві й реконструкції*

*меліоративних систем* / А. М. Рокочинський, С. В. Шалай, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк та ін. Рівне, 2006. 50 с.

2. Меліоративні системи та споруди : посібник до ДБН В.2.4-1-99. (Розділ 3. Осушувальні системи). *Метеорологічне забезпечення інженерно-меліоративних розрахунків у проектах будівництва й реконструкції осушувальних систем* / А. М. Рокочинський, О. І. Галік, Н. А. Фроленкова, В. А. Волощук та ін. Рівне, 2008. 64 с.

3. Тимчасові рекомендації з прогнозової оцінки водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель у проектах будівництва й реконструкції меліоративних систем / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк, Н. А. Фроленкова та ін. Рівне, 2011. 54 с.

### ***Контрольні питання***

1. Що таке поняття «меліоративний режим»?
2. Що собою представляють собою критерії економічної та екологічної ефективності гідромеліорацій?
3. Складна природно-технічна система це?
4. Поясніть поняття «техніко-економічного обґрунтування»?
5. Як реалізується водний режим осушуваних земель?
6. Що входить до *меліоративної та кліматичної групи*?
7. Як обґрунтовується вибір сукупності можливих варіантів проектних рішень з водорегулювання осушуваних земель?

## Тема 7. Принципи побудови та реалізації комплексних моделей оптимізації проектних розв'язань на еколого-економічних засадах

### 7.1. Вихідні передумови до постановки оптимізаційних задач

Сучасний етап розвитку меліоративного виробництва на осушуваних землях характеризується комплексом невирішених завдань, що пов'язані, перш за все, з практичною відсутністю достатніх методів обґрунтування загальної еколого-економічної доцільності реалізації гідромеліоративних заходів на різних рівнях прийняття рішень в часі.

Це викликає необхідність підвищення вимог до якості оцінки, прогнозу та оптимізації управління водним і загальним природно-меліоративним режимами осушуваних земель, як обов'язкової умови вирішення розглянутого кола питань, а також визначає актуальність формалізації цих процесів на всіх стадіях побудови схем прийняття рішень в часі, що враховують головні особливості реального виробничого об'єкта.

Розглянемо наявні підходи, методи і моделі оптимізації рішень, що розроблялись у споріднених галузях меліорації, водного і сільського господарства до цієї пори.

За традиційним, можна сказати вже класичним шляхом призначення управління та вибору рішень (що теоретично має універсальне значення незалежно від специфіки об'єкта) є *оптимізаційний підхід*. Він передбачає чітку (кількісно виражену у скалярному вигляді) формалізацію задачі управління, розробку моделей процесів, що протікають в об'єкті, і моделей впливу на об'єкт.

Формально модель для вибору рішень складається з цільової функції і набору обмежень, одним з яких є власне модель об'єкта. Знаючи критерій оптимізації  $U$  і моделі  $F(u)$  впливу управлінських дій  $u$  на критерій  $U$ , можна визначити оптимальне рішення  $U_0$  як таке, що екстремізує відповідний критерій якості

$$U_0 = U^{-1} \left[ \underset{\{u\} \in \Omega}{extr} F(u) \right], \quad (7.1)$$

де  $\Omega$  – область, в якій виконуються обмеження, що мають місце при реалізації моделі.

При цьому мається на увазі, що численність рішень  $\{u\} \in \Omega$  може бути порівняна за їх перевагою, тобто можливо вказати, яке з них має перевагу і наскільки. В принципі така постановка оптимізаційної задачі не залежить від виду і характеру об'єкта, а тому може бути застосована для будь-якого рівня управління або прийняття рішень.

Загальна структура вирішення такого питання включає в себе вибір критерію, формування умови й прийняття функції оптимізації, вибір

структури розрахунків відповідно до рівня сформульованого завдання і, зрештою, побудову економіко-математичної моделі та її реалізацію.

Сьогодні маємо численні приклади застосування оптимізаційного підходу для визначення параметрів меліоративних систем і раціональних схем використання водних ресурсів при розробці методів прийняття й обґрунтування технічних розв'язань в проектах будівництва й реконструкції водогосподарських і меліоративних об'єктів, що досить інтенсивно розроблялись в 70-80-ті роки як для зони зрошувальних меліорацій (А.Є. Агрест, К.П. Арент, В.Н. Кардаш, О.П. Кисаров, К.А. Папелішвілі, В.Г. Пряжинська, Л.М. Рекс, О.Г. Соломонія, Н.С. Фелінгер, К.І. Шавва, Б.Б. Шумаков та ін.), так і зони осушення перезволожених земель (Г.І. Афанасик, П.І. Закржевський, Ю.О. Канцибер, О.І. Климко, М.О. Лазарчук, І.В. Минаєв, І.С. Рабочев, Л.М. Рекс, В.О. Розин, П.Б. Свикліс, В.Ф. Шебеко та ін.).

Крім того, оптимізаційний підхід досить успішно застосовувався також для спроб розв'язування ряду окремих задач управління окремими меліоративними (оптимальний режим зрошення вирощуваних сільськогосподарських культур) (Г.І. Афанасик, Є.П. Галямин, П.І. Ковальчук, М.О. Лазарчук, А.П. Ліхацевич, Ю.М. Никольський, В.П. Остапчик, В.А. Платонов та ін.) і агротехнічними заходами (оптимальні структури посівів, дози внесення добрив й ін.) (Є.Є. Жуковський, В.А. Платонов, О.П. Федосєєв та ін.).

Однак, на жаль, більшість цих розробок не вийшли за рамки постановочного характеру і не були доведені до широкого впровадження на виробництві через вищерозглянуті причини, хоча в них були закладені найсучасніші теоретичні принципи вирішення оптимізаційних завдань, які не втратили своєї актуальності і сьогодні.

Аналізуючи умови застосування оптимізаційного підходу В.А. Платонов приходить до висновку, що він виявився мало придатним для розв'язування дійсно складних задач при функціонуванні складних природно-технічних систем через відсутність теорії і методів формалізації таких задач.

Оптимізаційний підхід може бути реалізований тільки при чіткому формулюванні цілісної системної методології, глибокого знання поведінки системи, що оптимізується – її динаміки, критеріїв, що діють в системі в цілому та її підсистемах на кожному з етапів прийняття рішень.

Труднощі такої формалізації надзвичайні, однак потенційно цей метод може дати більш якісні рішення хоча б тому, що його реалізація неможлива без побудови кількісних схем впливу зовнішніх діянь і управлінь на об'єкт.

Тому завжди, коли для цього є реальні передумови, застосування оптимізаційного підходу до управління є доцільним і, в першу чергу, для реалізації задач оптимізації на довготерміновій основі.

Стосовно до об'єкта управління, що розглядається нами (водорегулювання осушуваних земель з виходом на конструктивні рішення),

то тут мають місце усі головні проблеми застосування оптимізаційного підходу в класичному вигляді.

## 7.2. Структура побудови комплексних моделей оптимізації за різнорідними критеріями

За розглянутими передумовами щодо розв'язування оптимізаційних задач у складних природно-техногенних системах, модель оптимізації водорегулювання осушуваних земель відповідно до прийнятого за основу оптимізаційного підходу, може бути подана в загальному неявному вигляді як

$$U_0 = \underset{\{i\}}{extr} U_i, i = \overline{1, n_i}, \quad (7.2)$$

де  $U_0$  – екстремальне значення за прийнятою умовою обраного критерію оптимізації  $U$ , що відповідає оптимальному (раціональному) рішенню із сукупності можливих альтернативних варіантів  $I = \{i\}, i = \overline{1, n_i}$ .

Будь-яка метеоролого-економічна система дискретного типу в загальному випадку описується прямокутною матрицею розмірністю  $n_i \times n_p$ , елементи якої у вигляді «функції корисності»  $u_{ip} = u(I, P), i = \overline{1, n_i}; p = \overline{1, n_p}$  характеризують значення критерію  $U$ , що відповідають всіляким парам  $(I, P)$ , коли прийняті рішення сукупності  $I = \{i\}, i = \overline{1, n_i}$  реалізуються за певних метеорологічних умов у розрахункові за вологозабезпеченістю періоди вегетації сукупності  $P = \{p\}, p = \overline{1, n_p}$ .

При цьому мають бути відомі (визначені або задані) значення повторюваності чи часток  $\alpha_p, p = \overline{1, n_p}$  можливого стану типових метеорологічних режимів у розрахункові періоди вегетації в межах проектного терміну функціонування системи, приведеного до 1, тобто

$$\sum_{p=1}^{n_p} \alpha_p = 1.$$

Тоді, дотримуючись байєсівського підходу, середні (в статистичному розумінні) значення критерію оптимізації для кожного рішення з урахуванням *кліматологічної стратегії* управління об'єктом у багаторічному перерізі будуть визначатися за формулою

$$U_i = \sum_{p=1}^{n_p} u(I, P) \cdot \alpha_p, i = \overline{1, n_i}. \quad (7.3)$$

Таким чином, моделі оптимізації природно-меліоративних режимів осушуваних земель у загальному вигляді можуть бути представлені у вигляді

необхідних умов та обмежень за визначеною, обґрунтованою і прийнятою до розгляду сукупністю фізичних показників (критеріїв) оцінки водного і загального природно-меліоративного режимів осушуваних земель: за режимом РГВ або вологості ґрунту; величині, інтенсивності і направленості водообміну; індексу радіаційного балансу й ін.

За такими показниками, порівняно з їх граничними значеннями відповідно до конкретних ґрунтово-меліоративних умов об'єкта, можна передбачити направленість процесів, що відбуваються на меліорованих територіях під дією природних і меліоративних факторів і, тим самим, неявно оцінити екологічний ефект від реалізації гідромеліоративних заходів.

Формально це може бути представлено як

$$Z_{ji} \left\{ \begin{array}{l} \leq \\ = \\ \geq \end{array} \right\} \hat{Z}_j, \quad j = \overline{1, n_j}, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (7.4)$$

де  $Z_{ji}$  – сукупність  $\{j\}$ ,  $j = \overline{1, n_j}$  фізичних показників (критеріїв) екологічної ефективності водорегулювання осушуваних земель за сукупністю рішень  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$ , що приймаються;

$\hat{Z}_j$  – відповідні лімітуючі значення заданої сукупності показників.

Отже суть запропонованого підходу полягає у багатокритеріальній експертній оцінці умов формування водного режиму та його впливу на інші складові загального природно-меліоративного режиму земель за різних природно-меліоративних умов через співставлення потреб рослин, ґрунтів і охорони природи в регулюванні водного режиму меліорованих земель.

В принципі, застосування такого підходу для визначення екологічної доцільності гідромеліорацій достатньою мірою узгоджуються з методом **імітаційної оптимізації**, який базується на принципі виведення результатів імітаційного моделювання на лімітуючі показники шляхом зміни режиму функціонування процесу через вплив на елементи його управління.

Реалізація цього принципу здійснюється за схемою

$$\text{ЕУ} \Leftrightarrow \text{МІА} \Leftrightarrow \text{ЛП},$$

де ЕУ – елементи управління процесом, МІА – математичний імітаційний апарат, ЛП – лімітуючі показники.

Виходячи зі специфіки оптимізації екологічних систем як складних природно-техногенних систем, даним методом передбачається виведення результатів імітаційного моделювання на один або декілька груп лімітуючих показників, що локалізуються в окремих її складових. Результатом оптимізації є інформація про оптимальний експлуатаційний режим системи з урахуванням її технічного забезпечення, реконструкції, економічної доцільності, зміни в часі лімітуючих показників.

Що стосується показників (критеріїв) екологічної ефективності водорегулювання, то з розглянутих загальних показників природно-меліоративного режиму, три показники – вологість ґрунту  $W$ , глибина РГВ  $H_g$  та водообмін  $\pm V$  – у значному ступені визначають інтенсивність біологічного та геологічного кругообігів води і речовин на меліорованих територіях.

При цьому прагнення до підвищення врожайності вирощуваних культур й, одночасно, необхідність підвищення чи збереження родючості ґрунтів та охорони природи викликають суперечливі потреби в регулюванні таких показників водного режиму як вологість ґрунту ( $\bar{W}$ ) та РГВ ( $\bar{H}$ ), представлених у відносному вигляді.

Наочне представлення про вказані протиріччя дає рис. 7.1. На ньому схематично в узагальненому вигляді співставленні умови розвитку рослин, ґрунотворних процесів і деякі види впливу водних меліорацій на оточуюче середовище при різних значеннях показників  $\bar{W}$  і  $\bar{H}$  ( $\bar{W} = W / ПВ$ , де  $ПВ$  – повна вологоємність;  $\bar{H} = H_g / (\psi_0 + 0,5z_0)$ , де  $\psi_0$  – величина капілярного потенціалу ґрунту в розмірностях висоти водяного стовпа при вологості ґрунту  $W_0$ , що забезпечує максимальну продуктивність посівів ( $W_0 \approx 0,7 ПВ$ );  $z_0$  – глибина кореневмісного шару ґрунту).

Порівняльні діаграми на рисунку складені на підставі узагальнення численних даних різних авторів, отриманих у різних природно-кліматичних зонах. По осі ординат на кожній діаграмі відкладена відносна величина того чи іншого фактора (як частки від максимального значення), що характеризує розвиток рослин, ґрунтових процесів або ступінь впливу на оточуюче середовище.

На діаграмах заштриховані області значень  $\bar{W}$  і  $\bar{H}$ , які забезпечують найсприятливіші умови щодо розвитку рослин, ґрунтових процесів і мінімальних збитків для оточуючого середовища.

З графіків витікає, що за рахунок водорегулювання на меліорованих землях практично неможливо одночасно й повною мірою забезпечити максимальне зростання врожайності культур, найбільш інтенсивний розвиток ґрунотворних процесів і найбільш повну охорону навколишнього середовища. Можна лише зменшити деякі протиріччя між змінами цих факторів шляхом оптимізації природно-меліоративних та ґрунтових режимів.

Отже питання розв'язання проблеми оптимізації природно-меліоративних режимів осушуваних земель на довготерміновій основі може бути представлене структурно у вигляді знаходження раціональних (екологічно прийнятних) рішень за комплексними моделями оптимізації через сукупність різнорідних (фізичних) критеріїв, визначених з урахуванням кліматологічної стратегії управління об'єктом.

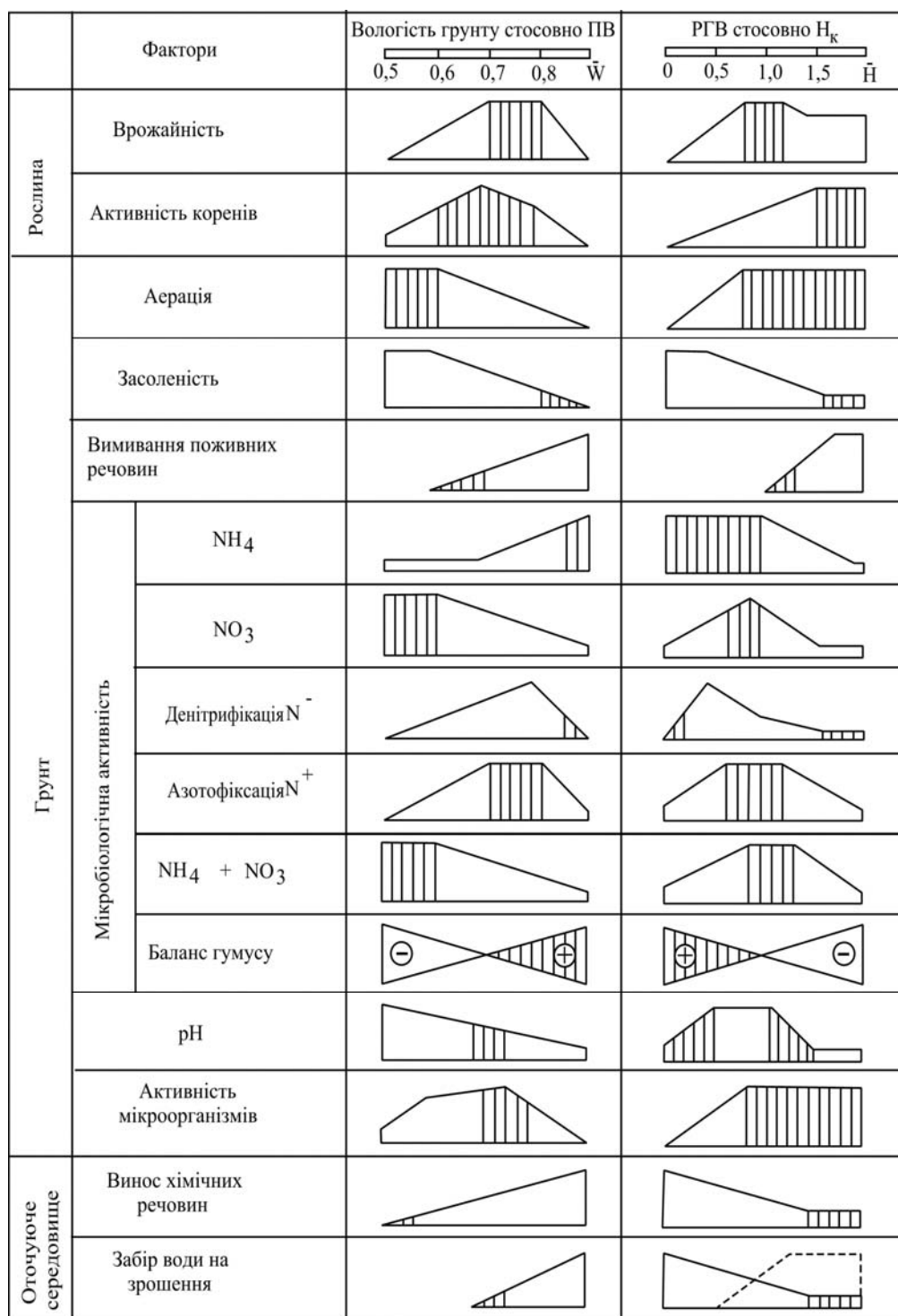


Рис. 7.1. Співставлення потреб рослин, ґрунтів і охорони природи в регулюванні водного режиму меліорованих земель (за І.П. Айдаровим, О.І. Головановим, Ю.М. Никольським)



Такі рішення характеризують екологічну прийнятливість їх реалізації, визначену неявно через обґрунтовану сукупність фізичних показників (критеріїв) водного і загального природно-меліоративного режимів, за якими можна з достатнім рівнем достовірності передбачити направленість процесів, які відбуваються на меліорованих територіях у часі під дією природних і меліоративних факторів.

При цьому визначення прийнятої сукупності критеріїв екологічної ефективності водорегулювання осушуваних земель, що представлені в загальній моделі оптимізації у вигляді необхідних умов та обмежень, повинні ґрунтуватись на використанні єдиного комплексу імітаційних субмоделей з їх прогнозової оцінки на довготерміновій основі.

Таким чином, з урахуванням викладеного можуть бути сформульовані основні теоретичні положення та принципи побудови загальних моделей оптимізації природно-меліоративних режимів осушуваних земель з урахуванням кліматологічної стратегії управління меліоративними об'єктами щодо рівнів прийняття їх у часі.

На стадії проекту нового будівництва чи реконструкції ГМС проектні рішення приймаються тільки один раз і наступні корегування закладених у них стратегій управління об'єктом відповідно до зміни погодних умов вже неможливі або недоцільні. Через практичну неспроможність спрогнозувати реальний характер їх зміни в межах проектного терміну функціонування системи (30-50 років), така стратегія може бути реалізована наступним чином.

З урахуванням (7.2) та (7.4) за комплексною моделлю оптимізації оптимальне проектне рішення в загальному вигляді може бути визначене як

$$Z_{0j} = \min_{\{i\}} |Z_{ji} - \hat{Z}_j|, \quad j = \overline{1, n_j}; \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (7.5)$$

де  $Z_{ji}$  – сукупність  $\{j\}$ ,  $j = \overline{1, n_j}$  критеріїв (фізичних показників) екологічної ефективності відповідних варіантів проектних рішень за сукупністю  $I = \{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$ ;

$\hat{Z}_j$  – відповідні до прийнятих лімітуючі показники екологічної ефективності.

Варіанти проектних рішень сукупності  $I = \{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$  складаються за різними технологіями водорегулювання осушуваних земель.

Тоді, аналогічно (7.3), значення критеріїв екологічної оптимізації для кожного проектного рішення з урахуванням кліматологічної стратегії управління об'єктом у багаторічному перерізі визначаються за формулою

$$Z_{ji} = \sum_{p=1}^{n_p} z_j(I, P) \cdot \alpha_p, \quad j = \overline{1, n_j}; \quad i = \overline{1, n_i}. \quad (7.6)$$

На стадії технологічної підготовки до наступного сезону для існуючої ГМС необхідно обґрунтувати стратегію водорегулювання у наступному році за невизначеного характеру погодних умов. Тут кліматологічна стратегія управління об'єктом можлива через обґрунтування оптимальних технологій водорегулювання для кожної схеми типових погодних умов прийнятої сукупності  $P = \{p\}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$  за моделлю, аналогічною до моделі (7.5)

$$Z_{0jip} = \min_{\{i\}} |Z_{jip} - \widehat{Z}_j|, \quad j = \overline{1, n_j}; i = \overline{1, n_i}; p = \overline{1, n_p}. \quad (7.7)$$

Реалізація комплексних оптимізаційних моделей потребує визначення показників і критеріїв екологічної ефективності проектних рішень, що формуються, насамперед, у межах меліорованого поля. Інтегральна їх оцінка за сукупністю полів проектної чи планової сівозміни в структурі природно-імітаційних розрахунків дозволить характеризувати екологічний ефект для системи в цілому.

### 7.3. Принципи реалізації комплексних моделей оптимізації проектних розв'язань

Як показує аналіз, усі складові загальної моделі оптимізації, такі як екологічні показники (критерії) водного і загального природно-меліоративного режимів осушуваних земель, визначаються прийнятими способами і схемами водорегулювання, є змінними і залежать від багатьох факторів, головними з яких є природно-кліматичні, ґрунтово-меліоративні, агротехнічні й інші умови об'єкта. Вони схематично можуть бути представлені у вигляді вихідних даних для постановки й розв'язування означених оптимізаційних задач через сукупності відповідних множинних показників:

- метеорологічних станцій або постів  $\Omega = \{\omega\}$ ,  $\omega = \overline{1, n_\omega}$ , їх часток  $f_\omega$  чи площ  $F_\omega$  обслуговування в межах системи;

- видів осушуваних ґрунтів  $G = \{g\}$ ,  $g = \overline{1, n_g}$ , їх часток  $f_g$  чи площ  $F_g$  розповсюдження;

- видів вирощуваних сільськогосподарських культур  $Q = \{k\}$ ,  $k = \overline{1, n_k}$ , їх часток  $f_k$  чи площ  $F_k$  в структурі проектних (планових) сівозмін та величин їх розрахункових середніх (проектних або планових) урожаїв  $\bar{Y}_k$ ,  $k = \overline{1, n_k}$  на осушуваних землях;

- можливих (за наявних ґрунтових, рельєфних, гідрологічних, гідрогеологічних та господарських умов) способів водорегулювання осушуваних земель  $S = \{s\}$ ,  $s = \overline{1, n_s}$ ;

- розрахункових (типових) за умовами тепло- й вологозабезпеченості періодів

вегетатції  $P = \{p\}$ ,  $p = \overline{l, n_p}$  та їх часток  $\alpha_p$ ,  $p = \overline{l, n_p}$  у межах проектного терміну функціонування системи або використання осушуваних земель.

Таким чином, визначення необхідних значень складових загальних моделей оптимізації можливе тільки на базі вирішення складного й розгалуженого, багатопараметричного й багатофункціонального завдання шляхом застосування методів математичного моделювання з використанням комп'ютера і ґрунтується на створенні комплексу ієрархічно зв'язаних імітаційних субмоделей з прогнозування на довготерміновій основі водного і загального природно-меліоративного режимів осушуваних земель, їх впливу на врожай вирощуваних культур та створюваний екологічний ефект.

На підставі викладеного, а також визначеної й обґрунтованої мінімально необхідної та ієрархічно зв'язаної сукупності субмоделей в складі загальної моделі меліорованого поля, розроблена узагальнена структура реалізації прогнозно-імітаційних та оптимізаційних розрахунків з оцінки екологічної ефективності водорегулювання осушуваних земель на довготерміновій основі за різних природно-меліоративних умов (рис. 7.2).

Характерними особливостями розробленої структури є, по-перше, блочна побудова їхньої реалізації. При цьому можна виділити такі відносно самостійні узагальнюючі блоки:

- блок формування вихідних даних за розглянутими сукупностями основних впливаючих природно-кліматичних, ґрунтово-меліоративних, агротехнічних, економічних й інших факторів (блок 2, рис. 7.2);

- блок прогнозних розрахунків на довготерміновій основі за сукупністю відповідних моделей: модель метеорологічних умов місцевості (блок 5, рис. 7.2), модель розвитку культур (блок 8, рис. 7.2), модель водного режиму осушуваних земель (блок 10, рис. 7.2), модель формування врожаю культур під дією змінних у часі природних (метеорологічних) і меліоративних (способів водорегулювання) факторів, за результатами яких визначаються необхідні *фізичні* показники екологічної ефективності водного і загального природно-меліоративного режимів осушуваних земель на рівні кожного меліорованого поля (вирощуваної культури) (блок 12, рис. 7.2);

- блок оптимізаційних розрахунків, який передбачає визначення, згідно із прийнятою структурою їх виконання (одно- або двохрівневою), прийнятих критеріїв екологічної ефективності технічних і технологічних розв'язань, що розглядаються, відповідно до сформульованого завдання за прийнятими умовами оптимізації як на рівні кожного меліорованого поля (вирощуваної культури), так і за сукупністю полів у межах системи (блок 14, рис. 7.2). За ними реалізується загальна умова оптимізації та остаточний вибір такого раціонального рішення, що здійснюється неформальним шляхом через експертну оцінку відповідним спеціалістом на стадії проекту або планової експлуатації меліоративної системи, яке враховує екологічну прийнятливість його реалізації (блок 15, рис. 7.2);

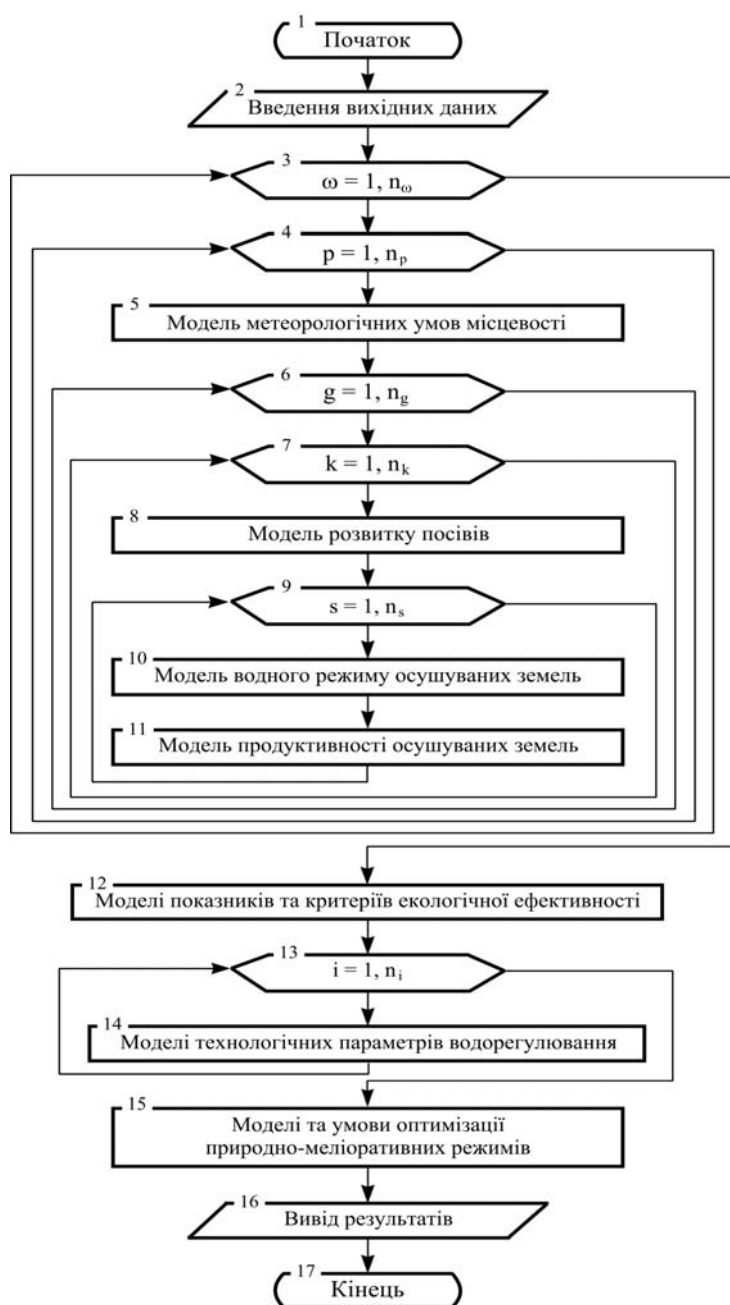


Рис. 7.2. Узагальнена блок-схема прогнозно-оптимізаційних розрахунків з оцінки природно-меліоративних режимів осушуваних земель

– блок оптимізаційних розрахунків, який передбачає визначення, згідно із прийнятою структурою їх виконання (одно- або двохрівневою), прийнятих критеріїв екологічної ефективності технічних і технологічних розв’язань, що розглядаються, відповідно до сформульованого завдання за прийнятими умовами оптимізації як на рівні кожного меліорованого поля (вироснуваної

культури), так і за сукупністю полів у межах системи (блок 14, рис. 7.2). За ними реалізується загальна умова оптимізації та остаточний вибір такого раціонального рішення, що здійснюється неформальним шляхом через експертну оцінку відповідним спеціалістом на стадії проекту або планової експлуатації меліоративної системи, яке враховує екологічну прийнятливість його реалізації (блок 15, рис. 7.2);

– блок формування й виводу будь-яких проміжних (за необхідності) та остаточних результатів прогнозно-оптимізаційних розрахунків на будь-якому етапі їх виконання (блок 16, рис. 7.2).

По-друге, це необхідність дотримання визначеного порядку ієрархічно підпорядкованої послідовності виконання прогнозно-оптимізаційних розрахунків за розглянутими моделями й узагальнюючими блоками, коли результати, отримані за відповідними моделями на нижчих рівнях ієрархії (зворотний порядок розташування блоків моделей на рис. 7.2), є вихідними даними для виконання подальших розрахунків.

Так, результати реалізації моделі метеорологічних умов місцевості є вихідними даними для подальшої реалізації моделі розвитку культур і далі, по схемі розрахунків – для реалізації моделей водного режиму осушуваних земель та формування врожаю культур. Або результати реалізації узагальнюючого блоку прогнозних режимних розрахунків використовуються для наступного узагальнюючого блоку оптимізаційних розрахунків і т.д.

По-третє, розробленій загальній структурі прогнозно-оптимізаційних розрахунків притаманна циклічність їх виконання через складний характер умов формування водного режиму осушуваних земель під впливом численних змінних факторів, що схематично можуть бути представлені у вигляді сукупностей за наявними (у загальному випадку) метеорологічними станціями чи постами в межах систем  $\{\omega\}$ ,  $\omega = \overline{I, n_\omega}$ , розрахунковими за умовами тепло- й вологозабезпеченості періодами вегетації  $\{p\}$ ,  $p = \overline{I, n_p}$ , видами осушуваних ґрунтів  $\{g\}$ ,  $g = \overline{I, n_g}$  і вирощуваних культур  $\{k\}$ ,  $k = \overline{I, n_k}$ , можливими для застосування способами водорегулювання  $\{s\}$ ,  $s = \overline{I, n_s}$  тощо (блоки циклу 3, 4, 6, 7, 9; рис. 7.2), а також зумовлену ними багатоваріантність можливих інженерних та управлінських рішень сукупності  $\{i\}$ ,  $i = \overline{I, n_i}$  (блок циклу 13, рис. 7.2) у проектах будівництва, реконструкції та експлуатації меліоративних систем, що розробляються.

Розглянуті принципи й підходи до побудови та реалізації загальної моделі оптимізації водорегулювання осушуваних земель на базі прогнозних режимних розрахунків дозволять спрогнозувати й оцінити поведінку досліджуваної складної природно-техногенної системи виду *агробіоценоз-ГМС-довкілля* в можливих умовах спільного функціонування її складових.

### ***Контрольні питання***

1. Дайте визначення поняттю оптимізаційний підхід?
2. Поясніть принципи реалізації комплексних моделей оптимізації проектних розв'язань?
3. Що можна визначити за комплексною моделлю оптимізації?
4. Що передбачає блок оптимізаційних розрахунків?
5. За якою схемою відбувається реалізація прогнозно-оптимізаційних розрахунків з оцінки природно-меліоративних режимів осушуваних земель?
6. Які необхідні вихідні дані для постановки й розв'язування означених оптимізаційних задач через сукупності відповідних множинних показників?

## **Тема 8. Обґрунтування оптимальних параметрів регулюючої та провідної мережі, регулюючих ГТС у проектах гідромеліоративних систем на еколого-економічних засадах**

### **8.1. Постановка задачі**

Характерною рисою сучасного етапу розвитку меліорацій як одного з найважливіших факторів інтенсифікації сільськогосподарського виробництва є масштабність їх впливу, що охоплює не тільки окремі об'єкти і господарства, але й цілі природні ландшафти та регіони. При цьому в сферу такої діяльності залучаються значні об'єми водних, земельних, енергетичних, трудових й інших матеріально-технічних ресурсів, що сприяє, з одного боку, не тільки корінному покращенню земель, але й суттєвим змінам властивостей природної (екологічної), соціальної, економічної та інших середовищ – з іншого.

Таким чином, проекти будівництва й реконструкції меліоративних об'єктів повинні передбачати безпосередній вплив меліоративної діяльності на всі аспекти від її реалізації. А тому кардинальне розв'язання такої проблеми неможливе без більш загального, порівняно з традиційним, підходу до обґрунтування направленості, складу та оцінки ефективності меліоративних об'єктів взагалі. При проектуванні меліоративних систем надзвичайно важливо правильно (об'єктивно) визначити їх параметри та параметри складових технічних елементів систем (регулюючої мережі, провідної мережі, регулюючих гідротехнічних споруд, насосних станцій тощо), які значною мірою зумовлюють вартість системи та її економічну ефективність.

Розроблені нами теоретичні засади, а також методи і моделі оптимізації технічних і технологічних рішень з водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних принципах потребують відповідного методичного, програмного й, більш за все необхідного інформаційного забезпечення їх реалізації за допомогою ПК при розв'язанні конкретних проектних задач.

Іншими словами, обґрунтування проектних рішень на еколого-економічних засадах потребує удосконалення самого процесу проектування, методичного та інформаційного забезпечення, рівня фахової підготовки проектувальників.

Сучасною методологічною основою та, одночасно, універсальним технічним інструментом, який дає змогу удосконалювати практику проектування складних об'єктів і систем, що сьогодні успішно використовується і розвивається практично в усіх галузях науки, техніки і промисловості, є **системи автоматизованого проектування (САПР)**. При цьому автоматизація проектування природним чином доповнює передуючу їй автоматизацію виробничих процесів та **автоматизацію управління й організацію управління (АСУ)**, що стають сьогодні реальністю.

У структурному відношенні САПР представляє собою організаційно-технічний комплекс, що складається з великої кількості взаємозв'язаних і взаємодіючих компонентів. Головною функцією САПР є здійснення автоматизованого проектування об'єктів та їх складових елементів на основі застосування математичних й інших моделей, автоматизованих проектних процедур і засобів обчислювальної техніки.

Таким чином, за усіма характерними ознаками САПР відноситься до складних систем, а методологічною основою його створення й функціонування, як і при створенні прогнозно-оптимізаційних методів і моделей, є системний підхід і системний аналіз.

Застосування САПР при проектуванні меліоративних систем потребує, в першу чергу, уточнення *базових проектних процедур*, що пов'язане з вибором найкращого проектного рішення на багатоваріантній основі. Типова логічна схема процесу проектування (тобто складу і черговості базових проектних процедур) на основі САПР за подана на рис. 8.1.

Загальна технологія проектування складних об'єктів, процесів і систем на багатоваріантній основі передбачає, порівняно з існуючими в практиці проектування меліоративних систем на осушуваних землях, реалізацію наступних базових процедур, таких як попереднє (пошукове) проектування шляхом вибору й обґрунтування можливих варіантів проектних рішень в умовах реального об'єкта.

На етапі ескізного проектування здійснюється подальше уточнення і конкретизація загальних структурних схем об'єкту за вибраними до розгляду можливими варіантами. Для меліоративних систем на осушуваних землях це, в першу чергу, тип та конструкція системи як компоновка певного набору (кількісного та якісного) відповідних технічних елементів (регулюючих споруд, насосних станцій тощо). На цьому етапі вирішується завдання інженерного синтезу та аналізу: синтез охоплює формування принципів реалізації і конкретизацію проектних технічних та технологічних рішень, а аналіз включає дослідження (за допомогою математичної моделі чи прототипу) вибраних варіантів та їх оцінку за основними укрупненими техніко-економічними показниками і параметрами.

І, зрештою, одна з головних цілей проектування полягає в пошуку оптимального проектного рішення з вибраної сукупності можливих варіантів. Сутність оптимізації при цьому зводиться до пошуку найкращого (з можливих) проектного рішення, яке дає мінімум (максимум) деякої цільової функції, що характеризує загальну (комплексну) ефективність об'єкта, що проектується. Отже для реалізації оптимізації головною умовою є наявність альтернатив, тобто сукупності можливих варіантів проектних рішень щодо природно-агро-меліоративних умов реального об'єкта.

Проектування меліоративних систем на осушуваних землях за вибраними технологіями водорегулювання на них виконується залежно від природно-кліматичних, рельєфних, ґрунтових, гідрогеологічних,



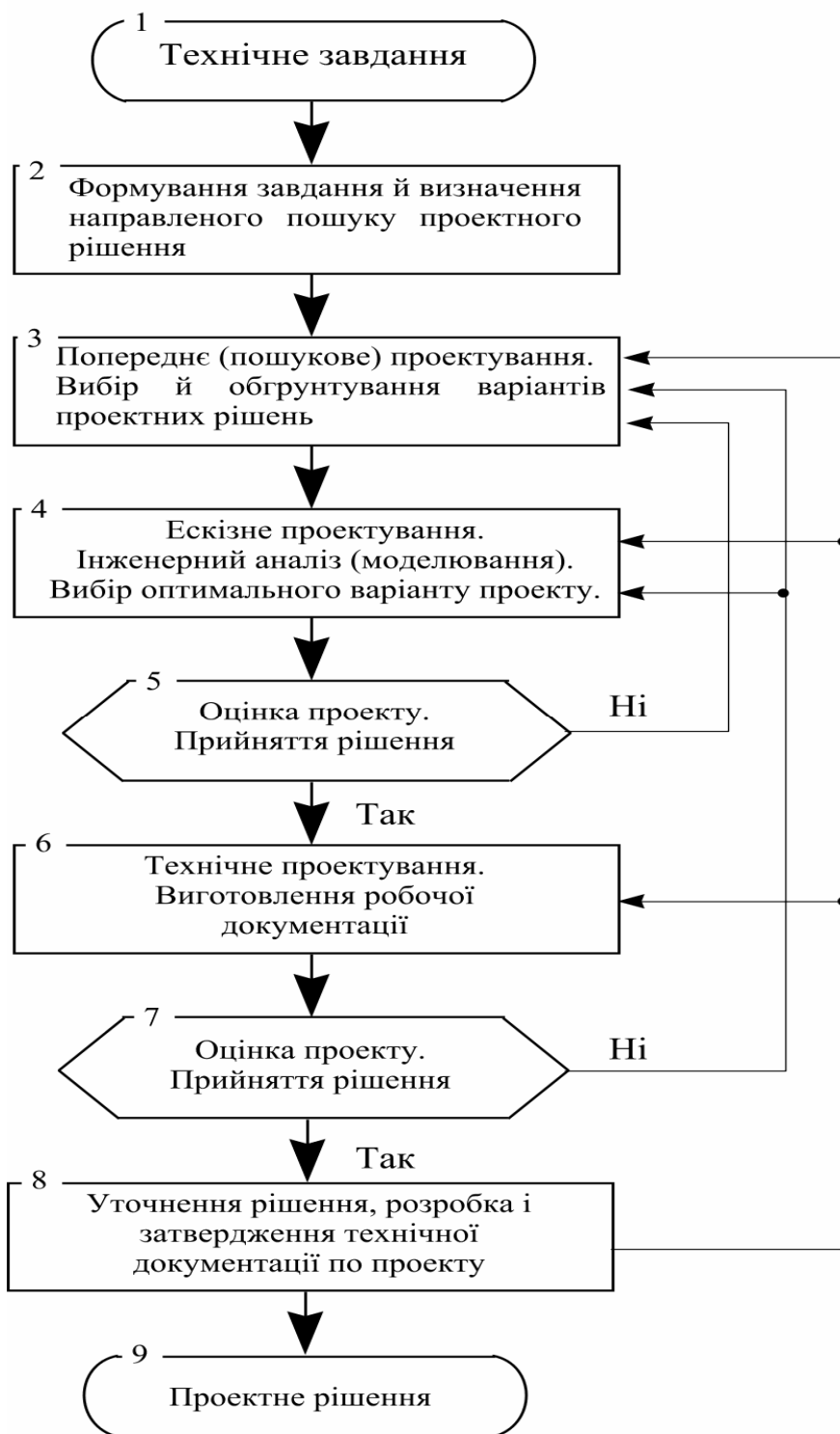


Рис. 8.1. Типова логічна схема процесу проектування на багатоваріантній основі за базовими проектними процедурами

агротехнічних та інших умов об'єкта, які оцінюються за результатами інженерних вишукувань проектною організацією. У зв'язку з цим, при проектуванні меліоративних заходів, як правило, виникає значна кількість різних за технічними та технологічними рішеннями варіантів, які визначально впливають як, перш за все, на економічну, так і екологічну ефективність від їх реалізації.

Відповідно до діючих нормативів вибір проектних рішень елементів меліоративних систем на осушуваних землях, технологій водорегулювання тощо необхідно здійснювати залежно від конкретних умов реального об'єкта, що розглядається, шляхом порівняння можливих альтернативних варіантів. У загальному випадку найкращий варіант конструкції меліоративної системи, як правило, визначається через порівняння техніко-економічних показників відповідних проектних рішень між собою.

Варіанти технічних і технологічних рішень при проектуванні меліоративних систем на осушуваних землях можуть бути сформовані за такими основними напрямками:

- 4) конструктивні рішення за системою в цілому щодо її типу, конструкції та параметрів;
- 5) конструктивні рішення за елементами системи щодо регулюючої, провідної та огорожувальної мережі, гідротехнічних споруд, водозаборів, скидних споруд, насосних станцій тощо;
- 6) технологічні рішення щодо способів, режимів та схем водорегулювання.

Крім того, також можуть бути розглянуті варіанти за напрямками сільськогосподарського використання осушуваних земель щодо проектних видів, складу (структури посівних площ) та врожайності вирощуваних сільськогосподарських культур, способами первинного освоєння меліорованих угідь та проведення культуртехнічних робіт тощо.

Всі ці варіанти проектних рішень забезпечують відповідну кількість та якість отримуваної сільськогосподарської продукції, тобто економічний ефект від реалізації гідромеліоративних заходів, а також відповідний екологічний ефект. А тому адекватна порівняльна оцінка загального еколого-економічного ефекту дозволить вибрати спочатку найкращий варіант з можливих альтернативних рішень та визначити в подальшому абсолютну ефективність проекту в цілому. Отже реалізація такого підходу передбачає обов'язкове застосування розгляду та оцінки проектних рішень у три етапи:

- 4) обґрунтування, вибір й попередня оцінка можливих варіантів проектних рішень щодо природно-агро-меліоративних умов реального об'єкта на передпроектній стадії;
- 5) обґрунтування й вибір оптимального варіанту проектного рішення за порівняльною оцінкою альтернативних варіантів на стадії ескізного проектування;
- 6) остаточна оцінка вибраного проектного рішення за абсолютними техніко-економічними показниками на стадії розробки технічної документації по проекту.

## 8.2. Необхідні вихідні передумови

Як ми вже відмічали, за експертними оцінками провідних фахівців сучасний рівень розвитку меліорацій взагалі та в зоні достатнього і нестійкого зволоження України зокрема, характеризується, нарівні з беззаперечними успіхами, досягнутими в галузі, недостатньою загальною еколого-економічною ефективністю від реалізації гідромеліоративних заходів. В кращому випадку наявний рівень економічної ефективності гідромеліорацій складає 60...70% від проектного.

Однією з головних причин такого стану справ є неможливість врахування при розробці проектів будівництва й реконструкції ГМС та обґрунтуванні їх технічних і технологічних параметрів реального рівня продуктивності меліорованих земель порівняно з рівнем конструктивної досконалості, надійності й, відповідно, вартості меліоративних об'єктів.

У зв'язку з тим, що загальна ефективність гідромеліоративних заходів у значному ступені залежить від випадкових процесів, які не піддаються точному врахуванню, планування цих заходів на довготерміновій основі – стадія проекту, повинно в тій чи іншій мірі спиратися на статистичну оцінку цих процесів та варіантну проробку.

У зв'язку з цим, бажаний рівень технічної надійності роботи споруд і систем в цілому й, відповідно, рівень капіталовкладень на їх забезпечення у змінних в часі та невизначених за своїм характером природно-меліоративних умовах визначався через введення і розгляд таких понять як *розрахункова величина, розрахункова схема, розрахунковий рік* тощо.

А тому розрахункові модулі, витрати, об'єми, напори, глибини води й ін. та відповідні технічні характеристики інженерних споруд, такі як тип, конструкція, їх розміри тощо, можуть бути визначені тільки за однією розрахунковою схемою, в тому числі щодо заданої *розрахункової забезпеченості* їх виявлення, і враховують тільки якісь граничні умови роботи цих споруд за фіксованою розрахунковою величиною чи гідрологічною характеристикою імовірності перевищення, що відповідають цій розрахунковій схемі.

Такий фіксований рівень розрахункової величини чи розрахункової забезпеченості діє як закон для всіх об'єктів, незалежно від їх місцезнаходження щодо зональних природно-кліматичних, ґрунтових, господарських та інших важливих факторів, що визначально впливають на ефективність їх функціонування. Тому, як показують практика і набутий досвід, це призводить, як правило, до невиправданого, як з економічної, так і екологічної точок зору, перевищення рівня капіталовкладень та применшення доходу і, таким чином, знижує загальну ефективність реалізації гідромеліоративних заходів.

Отже за такого підходу розрахункові технічні характеристики інженерних споруд, самі споруди і система в цілому розглядаються суто тільки як технічні елементи, безвідносно до остаточного загального ефекту

(економічного та екологічного), який повинен створюватись на меліорованих землях за цільовим призначенням їх функціонування. А тому постановка й розв'язання оптимізаційних задач у такому разі не виходить за обмежені рамки параметричної оптимізації цих споруд тільки як технічних конструкцій, що вже не відповідає сучасним вимогам щодо необхідності створення й функціонування ГМС на еколого-економічних засадах.

Ключ до вирішення даного питання, на нашу думку, лежить у необхідності заміни традиційного підходу до обґрунтування технічних і технологічних рішень при реалізації гідромеліоративних заходів через постановку та розв'язання комплексу оптимізаційних задач, що мають місце в складних природно-технічних системах, до яких відносяться меліоративні об'єкти гумідної зони, як для кожного рівня, так і складового розглянутого структурного співвідношення *ефект–режим–технологія–конструкція* в цілому.

У свою чергу, це викликає необхідність підвищення вимог до якості оцінки, прогнозу та оптимізації управління водним і загальним природно-меліоративним режимами осушуваних земель як обов'язкової умови розв'язання означеної проблеми, а також визначає актуальність формалізації цих процесів на всіх стадіях побудови схем прийняття рішень в часі при проектуванні та експлуатації меліоративних об'єктів за відповідними моделями. Для цього потрібна система прогнозно-оптимізаційних моделей - система, яка дозволить спрогнозувати та оцінити загальну еколого-економічну ефективність технічних і технологічних розв'язань з водорегулювання осушуваних земель на різних рівнях їх прийняття в часі щодо стадій проекту, планової експлуатації та оперативного управління ГМС.

Таким чином, реалізація такої концепції надасть можливість вийти на якісно інший – еколого-економічний рівень визначення технічної надійності й відповідного рівня капіталовкладень для його забезпечення, при створенні й функціонуванні меліоративних об'єктів в гумідній зоні.

На розв'язання означеної проблеми, починаючи з середини 80-х років в лабораторії АСУ та САПР кафедри гідромеліорацій РДТУ під загальним науковим керівництвом д.т.н., професора Лазарчука М.О. були практично вперше в Україні започатковані науково-дослідні роботи з розробки наукових принципів, методів і моделей щодо оптимізації технічних і технологічних рішень з водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах при будівництві, реконструкції та експлуатації меліоративних об'єктів в зоні достатнього та нестійкого зволоження.

Оскільки сформульований науковий напрямок є надзвичайно складним, об'ємним і багатопрофільним за своїм характером і змістом, в числі інших, була виконана першочергова розробка та впровадження економіко-математичних методів розрахунку оптимальних параметрів дренажу, а також обґрунтування вибору оптимальної розрахункової забезпеченості і перерізів магістральних каналів (водоприймачів) як основних технічних елементів, що визначають ефективність роботи осушувальних систем в цілому. Суть та

загальна ефективність цих розробок полягають в наступному.

Наявна практика вибору типу, конструкції і параметрів регулюючої та провідної мережі осушувальних систем ґрунтується на достатньо теоретично обґрунтованих й апробованих на виробництві методах розрахунку, в основу яких покладені теоретичні засади руху води в природних і технічних системах, що розглядаються в гідромеханіці і гідравліці.

Вони дають змогу визначити параметри конструктивних елементів осушувальних систем на їх пропускну здатність, обмежену прийнятим рівнем розрахункової забезпеченості (й, відповідно, надійності і вартості) на розрахунковий період за діючими нормами проектування:

- для дренажу – від 2...5% до 10% забезпеченості щодо розрахункового модуля дренажного стоку;
- для магістральних каналів – 10% забезпеченості за розрахунковими витратами (посівна, чи висока літня, чи повенева).

Отримані при цьому технічні характеристики конструктивних елементів для відведення води з осушуваної території практично аж ніяк не враховують створюваний від цього загальний, в першу чергу економічний ефект, зумовлений досягнутим рівнем врожайності вирощуваних сільськогосподарських культур в структурі проектної сівозміни. Тому цілком очевидно, що на землях з більш високою потенційною родючістю і при вирощуванні більш цінних сільськогосподарських культур вимоги до параметрів і конструктивної надійності дренажу та магістральних каналів повинні бути більш жорсткими, а при відносно невисокій продуктивності осушуваних земель – ці вимоги мають бути знижені.

Таким чином, для обґрунтування параметрів і конструктивних рішень елементів осушувальних систем необхідно застосовувати техніко-економічні методи розрахунку, які дозволяють враховувати при їх визначенні затрати на будівництво, експлуатацію та сільськогосподарське освоєння меліорованих угідь, їх реальну продуктивність порівняно з проектною та можливі втрати врожаю при відхиленні водного режиму ґрунтів від оптимального у розрахунковий період функціонування об'єкта.

До того ж, діючими нормами проектування передбачена необхідність техніко-економічного обґрунтування конструктивних рішень і параметрів основних елементів осушувальних систем, але не розглядається механізм його реалізації через відсутність відповідних методик.

Пошук оптимальних рішень за традиційним оптимізаційним методом включає в себе вибір критерію, формування умови й прийняття функції оптимізації, вибір структури розрахунків відповідно до рівня сформульованого завдання і, зрештою, побудову економіко-математичної моделі та її реалізацію.

Щодо сформульованого завдання, структурно вибір економічно оптимального конструктивного розв'язання (тип, конструкція технічних елементів і осушувальної системи в цілому) може бути здійснений за такою оптимізаційною моделлю, представленою у неявному вигляді

$$U_0 = \underset{\{i\}}{extr} U_i, i = \overline{1, n_i}. \quad (8.1)$$

Відповідно оптимальні параметри цих елементів можуть бути визначені за оптимальним рівнем розрахункової забезпеченості для конкретного об'єкта з урахуванням наявних природно-агро-меліоративних умов, обґрунтування якої може бути здійснене, в свою чергу, за моделлю

$$p_0 = \underset{\{p\}}{extr} U_i(P), i = \overline{1, n_i}; p = \overline{1, n_p}. \quad (8.2)$$

На реалізацію розглянутого загального підходу як цільова функція оптимізації параметрів дренажу та розрахункової забезпеченості магістрального каналу прийнята мінімальна сума приведених затрат на реалізацію технічного рішення і відповідних до них можливих втрат врожаю сільськогосподарських культур при відхиленні водного режиму осушуваних земель від оптимального у розрахунковий (посівний) період

$$ZP_i + \Delta Y_i \rightarrow \min, i = \overline{1, n_i}, \quad (8.3)$$

де  $ZP_i$  – питомі приведені затрати по  $i$ -му варіанту проектного рішення сукупності,  $\{i\}, i = \overline{1, n_i}$ ;

$\Delta Y_i$  – математичне очікування зниження врожайності сільськогосподарських культур проектної сівозміни за відповідним варіантом.

Вибір даного критерію оптимізації проектних рішень зумовлений необхідністю пошуку відповідних оптимальних конструктивних рішень основних елементів осушувальних систем, головна мета, при роботі яких, є забезпечення вимог вирощуваних сільськогосподарських культур на розрахунковий посівний період. При цьому найскладнішою проблемою є необхідність визначення загальної ефективності реалізованих конструктивних рішень через врожаї вирощуваних сільськогосподарських культур проектної сівозміни, які, у свою чергу, остаточно формуються тільки по закінченні періоду їх вегетації.

Пошук оптимальних технічних і технологічних рішень в складних природно-технічних системах, до яких відносяться осушувальні системи, здійснюється на основі визначення функціональних зв'язків між складовими основоположного структурного співвідношення *ефект-режим-технологія-конструкція*. Стосовно проектних задач, що розглядаються, такий зв'язок між параметрами дренажу та розрахунковою забезпеченістю і перерізами магістральних каналів із створюваним економічним ефектом реалізовано через відповідний зв'язок між варіантами конструктивних рішень щодо основних технічних елементів осушувальної системи з очікуваною ефективною врожайністю вирощуваних культур проектної сівозміни при їх реалізації.

Остання може бути визначена за формулою

$$Y_{ik} = \hat{Y}_k(1 - \gamma_{ik}), i = \overline{1, n_i}; k = \overline{1, n_k}, \quad (8.4)$$

де  $Y_{ik}$  – ефективна врожайність  $k$ -ї культури сукупності  $\{k\}$ ,  $k = \overline{1, n_k}$  проектної сівозміни при реалізації  $i$ -го варіанту проектного технічного рішення сукупності  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$ ;

$\hat{Y}_k$  – проектна врожайність  $k$ -ї культури;

$\gamma_{ik}$  – коефіцієнт математичного очікування зниження врожайності  $k$ -ї культури при відхиленні водного режиму осушуваних земель від оптимального у розрахунковий (посівний) період при реалізації  $i$ -го варіанту проектного рішення.

Отже коефіцієнт  $\gamma_{ik}$  є тією ключовою ланкою, яка зв'язує між собою технічні характеристики й параметри осушувальних елементів із створюваним економічним ефектом (врожайністю культур проектної сівозміни) в структурі реалізації економіко-математичного підходу для обґрунтування оптимальних проектних рішень за ними.

Його значення були визначені М.О. Лазарчуком і В.Г. Мурановим шляхом проведення чисельного експерименту на комп'ютері, в основі якого покладений ретроспективний аналіз водного режиму осушувальних систем за багаторічними даними (20...30 років) для більшості основних природно-агро-меліоративних умов реальних об'єктів, розташованих в зоні достатнього та нестійкого зволоження України.

Оскільки практичні аспекти й необхідні складові означених задач досить широко представлені у відповідних наукових і науково-технічних публікаціях, тут ми обмежимося розглядом лише загальних підходів до їх розв'язування і основних результатів апробації й ефективності застосування даних розробок в умовах виробництва та навчальному процесі.

### 8.3. Принципи побудови та реалізації оптимізаційних моделей

#### 8.3.1. Оптимізація параметрів регулюючої мережі

Одним з найважливіших елементів осушувальних систем є регулююча мережа, параметри якої, куди, в першу чергу, відноситься міждренна відстань, визначально впливають як на загальну ефективність сільськогосподарського використання меліорованих земель, так і безпосередньо на вартість будівництва чи реконструкції об'єктів меліорації.

На даний час розроблена значна кількість, навіть дуже різних за своєю суттю, методів і моделей з визначення міждренних відстаней сільськогосподарського горизонтального дренажу, як найбільш розповсюдженого в практиці освоєння перезволожених ґрунтів, що дозволяють враховувати майже увесь комплекс ґрунтових, кліматичних, гідрогеологічних, рельєфних й інших умов об'єкта, конструкцію і розміри дренажних устроїв, вплив на роботу закритого дренажу відкритих каналів

провідної мережі тощо.

Теоретичні засади науки про дренування ґрунтів були закладені працями Х. Дарсі, І. Дюпюї, І. Буссинеска. В подальшому розроблені ними теоретичні основи отримали подальшого розвитку в залежностях для розрахунку основних параметрів сільськогосподарського дренажу, що розроблялись як в нашій країні, так і за її межами А.М. Костяковим, С.Ф. Авер'яновим, В.В. Ведерниковим, В.В. Шестаковим, О.Я. Олійником, М.Г. Пивоваром, В.Л. Поляковим, О.І. Івицьким, О.І. Мурашко, В.Т. Климковим, В.А. Іонотом, А.М. Янголем, Ш.А. Брусиловським, О.І. Головановим, В.Я. Шапраном та багатьма іншими вченими.

На різних етапах розвитку меліоративної науки визначились два основні методи розрахунку дренажу: *гідромеханічний*, що ґрунтується на теоретичних засадах руху води в природних і технічних системах, та *емпіричний*, що ґрунтується на переважно статистичному опрацюванні даних численних натурних досліджень. Кожен з них має свої переваги та недоліки.

Як найбільш теоретично обґрунтований, гідромеханічний метод дає змогу проводити якісний аналіз факторів гідрологічної дії дренажу та гідродинамічних процесів, що відбуваються в ґрунтах, за усією множиною розрахункових схем реальних природних умов, конструктивних особливостей дренажу в цілому та використовуваних при його влаштуванні фільтруючих матеріалів тощо. Водночас, головним недоліком гідромеханічних розрахунків є те, що отримані за ними параметри дренажу не обґрунтовані з економічної та екологічної точок зору. Тобто вони не враховують затрат на будівництво і експлуатацію дренажу та його вплив на довкілля.

Розповсюджений також на практиці емпіричний метод потребує значних затрат на його реалізацію і, водночас, має дуже обмежені рамки застосування, визначені зональними умовами розташування досліджуваного об'єкта.

Тому в сучасних умовах найбільш перспективним вважається економіко-математичний метод визначення параметрів меліоративних об'єктів та їх складових технічних елементів, що поєднує в собі переваги гідромеханічного та емпіричного методів і ґрунтується на реалізації комплексу прогностно-оптимізаційних розрахунків. Розробкою цього методу активно займались К.Т. Хомік, І.С. Рабочев, І.В. Минаєв, Ю.М. Никольський, М.О. Лазарчук та ін.

Розроблений нами, в розвиток наявних підходів до обґрунтування параметрів дренажу, економіко-математичний підхід полягає в наступному.

Як *модель параметрів конструкції* для визначення міждренних відстаней за фільтраційними розрахунками горизонтального дренажу використана формула ДБН В.2.4-1-99, з урахуванням розробок О.Я. Олійника та О.І. Мурашко для однорідних і шаруватих ґрунтів в умовах атмосферно-ґрунтового живлення. Дана модель досить повно враховує конструктивні особливості матеріального горизонтального дренажу і реалізується:



а) для випадку неглибокого водотриву, коли  $m_D \leq E/4$

$$E_i = 4 \left( \sqrt{L_{fi}^2 + \frac{HT}{2q_i}} - L_{fi} \right), i = \overline{1, n_i}; \quad (8.5)$$

б) для випадку глибокого водотриву, коли  $m_D > E/4$

$$E_i = \frac{2\pi k_\phi H}{q_i [\ln(2E_i/\pi D_i) + \Phi_i]}, i = \overline{1, n_i}, \quad (8.6)$$

де  $m_D$  – відстань від осі дрени до водотриву, м;

$E$  – відстань між дренами, м;

$L_f$  – загальні фільтраційні опори за ступенем та характером розкриття пласта

$$L_f = \frac{m_D}{\pi} \left[ \ln \left( \frac{2m_D}{\pi D} \right) + \frac{2h_0}{m_D} \ln \left( \frac{4h_0}{\pi m_D} \right) + \left( 1 + \frac{2h_0}{m_D} \right) \Phi \right], \text{ м}; \quad (8.7)$$

$h_0 = 0,5H$ , м;

$H$  – розрахунковий напір, м;

$T$  – провідність пласта, м<sup>2</sup>/добу;

$q$  – інтенсивність інфільтраційного живлення, м/добу;

$k_\phi$  – коефіцієнт фільтрації ґрунту, м/добу;

$D$  – зовнішній діаметр дрени, м;

$\Phi$  – фільтраційні опори за характером розкриття пласта залежно від конструкції дрен, м.

Залежно від ґрунтових та гідрогеологічних умов роботи дренажу розрахунки за формулами (8.5)-(8.7) виконуються за такими основними розрахунковими схемами (рис. 8.2): 1 – одношарова схема; 2 – двошарова схема, коли  $m_1 > b_1$ ; 3 – двошарова схема, коли  $m_1 < b_1$ ; 4 – тришарова схема, коли  $K_1 \geq K_2 \geq K_3$ ; 5 – тришарова схема, коли  $K_3 \gg K_2$ ; 6 – тришарова схема, аналогічно схемі 5, коли  $K_2/K_1 \leq 0,01$ .

Для обґрунтування параметрів дренажу економіко-математичний метод реалізується за умовою (8.3) відповідно до інтерпретації економічної складової комплексної моделі оптимізації.

При цьому як технічні варіанти проектних рішень розглядаються конструкції дренажу за різними його видами (гончарний і пластмасовий), діаметрами (50, 75, 100 мм – для гончарних; 50, 63 мм – для пластмасових) та використаними фільтрами (без фільтру або зі з'єднувальними муфтами, фільтри з рулонних матеріалів різних видів, гравійно-пісчана засипка тощо).

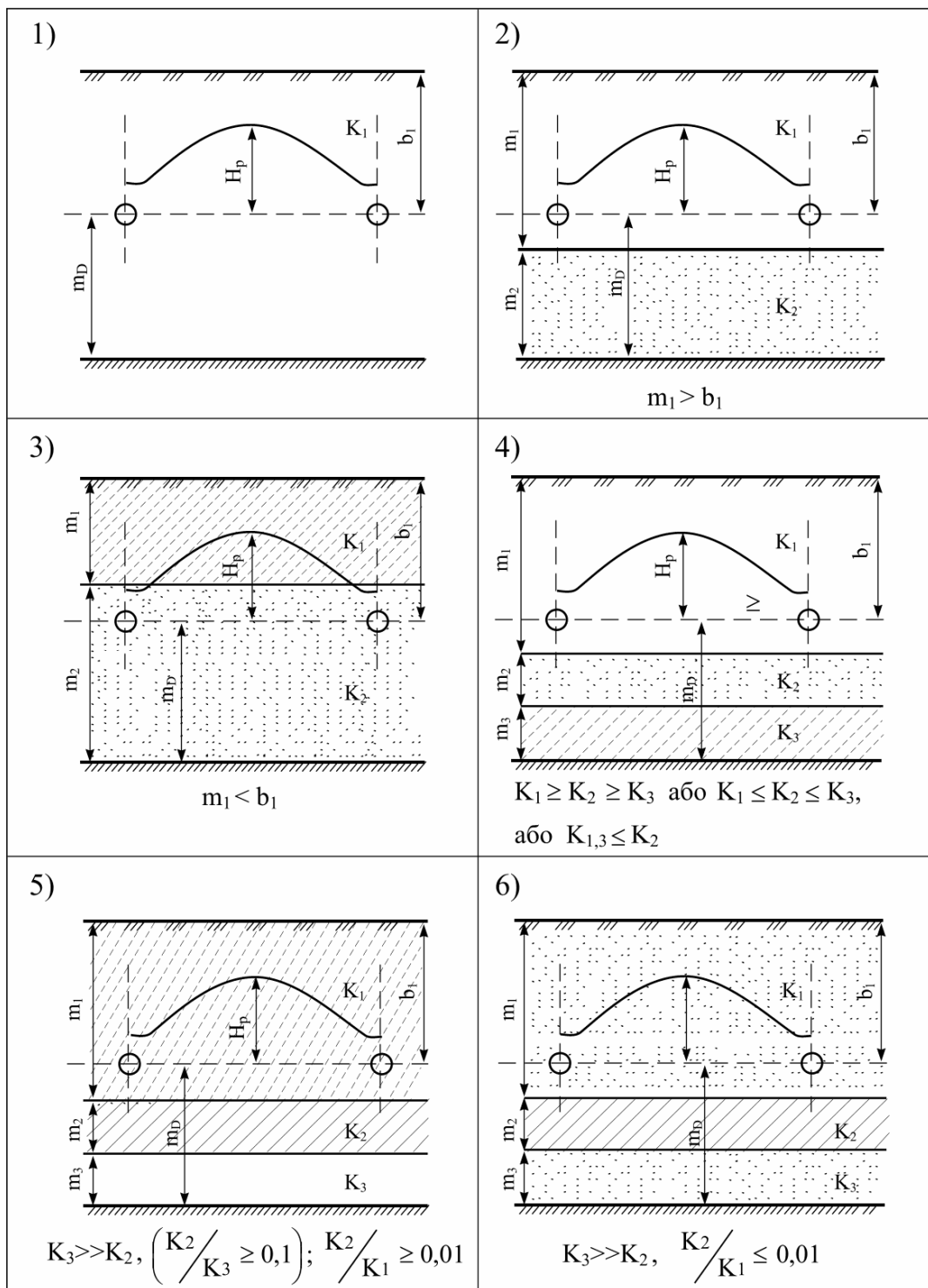


Рис. 8.2. Розрахункові схеми роботи дренажу за гідрогеологічними умовами

Всього таких варіантів сукупності  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$  за конструктивними ознаками дренажу розглядається біля 20.

В даних прогнозно-оптимізаційних розрахунках як *модель параметрів ефекту* використовується формула (8.4), в якій коефіцієнт математичного очікування зниження врожайності  $\gamma_{ik}$ , як *функція зв'язку параметрів ефекту з параметрами конструкцій*, визначається за наступною емпіричною залежністю

$$\gamma_{ik} = \lambda_k \left[ \frac{A_G \mu^{0,5}}{(q_i + 0,4)^2} - B_G \right], \quad i = \overline{1, n_i}; \quad k = \overline{1, n_k}, \quad (8.8)$$

де  $\lambda_k$  – емпіричний коефіцієнт, який залежить від виду культури;

$A_G, B_G$  – зональні емпіричні коефіцієнти, які залежать від місцезнаходження об'єкта;

$\mu$  – коефіцієнт водовіддачі ґрунту.

Всі необхідні умови, вихідні дані, формули розрахунку складових моделей параметрів конструкцій і параметрів ефекту, а також довідкові дані, детально викладені в.

Узагальнена структурна блок-схема реалізації прогнозно-оптимізаційних розрахунків з обґрунтування параметрів дренажу за економіко-математичним методом подана на рис. 8.3 і додаткових коментарів не потребує.

За результатами прогнозно-оптимізаційних розрахунків визначається оптимальний, економічно вигідний щодо конкретних природно-агро-меліоративних умов досліджуваного об'єкта, варіант проектного технічного рішення за конструкцією дренажу, розрахункового модуля дренажного стоку та міждренною відстанню.

Приклад розрахунку з обґрунтування параметрів регулюючої мережі осушувальних систем за розглянутим економіко-математичним підходом для конкретних природно-агро-меліоративних умов одного з реальних, досліджених нами об'єктів в зоні осушувальних меліорацій України. Наочне представлення залежності оптимальних конструкцій та параметрів дренажу від продуктивності осушуваних земель для умов розглянутого об'єкта подано на рис. 8.4 та в табл. 8.1.

Наведені результати переконливо свідчать про справедливість висунутої раніше гіпотези щодо наявності тісного зв'язку між параметрами конструкції та параметрами створюваного ефекту на меліорованих землях, урахування яких підвищує обґрунтованість відповідних проектних рішень.

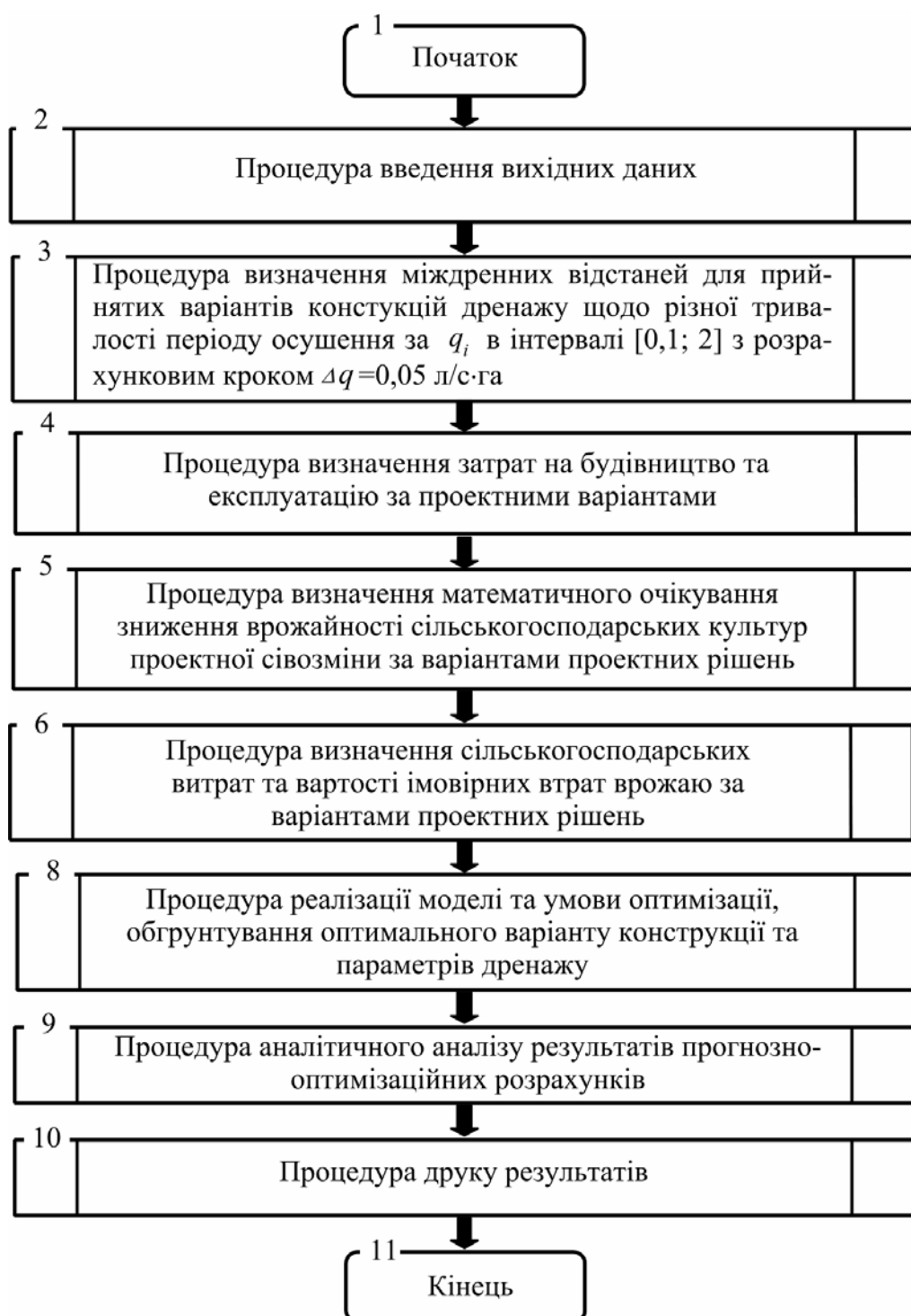
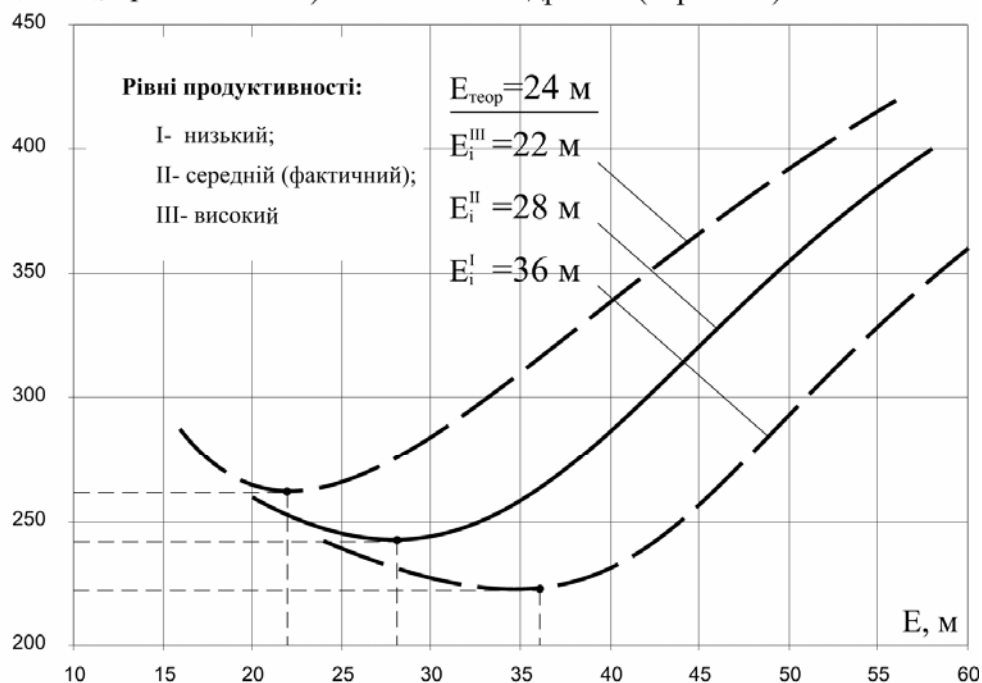


Рис. 8.3. Структурна блок-схема реалізації прогнозно-оптимізаційних розрахунків з обґрунтування параметрів дренажу за економіко-математичним методом

$ZP_i + \Delta Y_i$ , крб/га

а) пластмасовий дренаж (варіант 6)



б) гончарний дренаж (варіант 3)

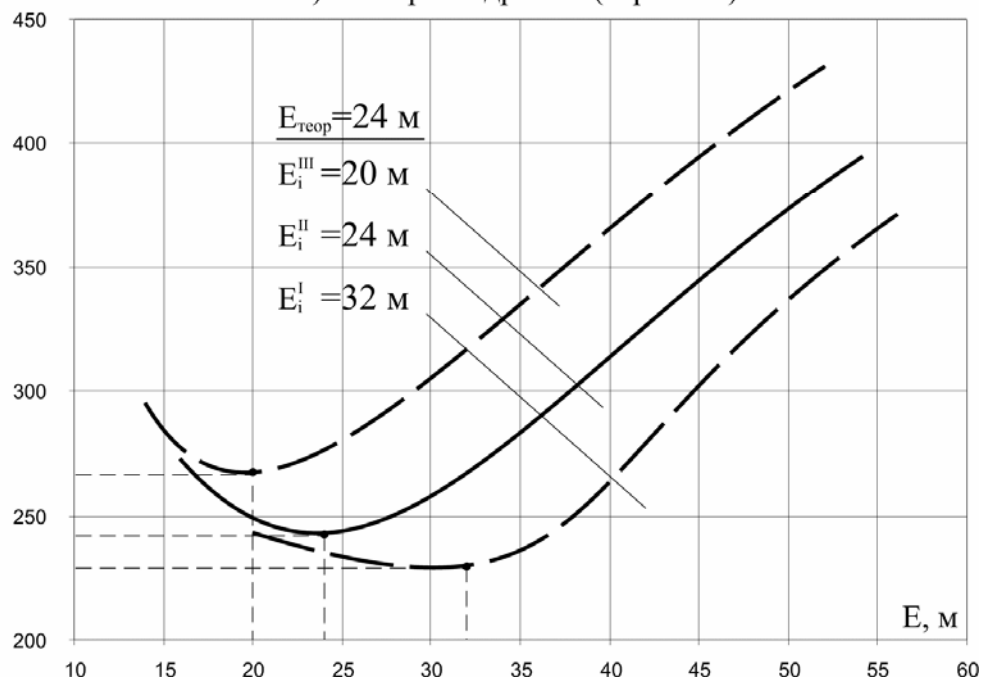


Рис. 8.4. Залежність оптимальних конструкцій та параметрів дренажу від рівня продуктивності осушуваних земель

Таблиця 8.1

Узагальнена оцінка оптимальних параметрів різних варіантів дренажу щодо різних рівнів продуктивності осушуваних земель (ПСП «Світанок» Рокитнівського р-ну Рівненської обл.)

Рівні продуктивності	Пластмасовий дренаж ( $i = 6$ )		Гончарний дренаж ( $i = 3$ )	
	$E_i$ , м	$ZP_i + \Delta Y_i$ , крб/га	$E_i$ , м	$ZP_i + \Delta Y_i$ , крб/га
Низький (I)	24	243	20	246
	36	223	32	230
	60	360	56	372
Середній (II)	20	260	16	272
	28	242	24	242
	58	400	52	364
Високий (III)	16	288	14	296
	22	262	20	268
	56	420	52	432

Примітка. Виділені оптимальні варіанти конструкцій та параметрів дренажу щодо рівнів продуктивності осушуваних земель.

Подальший розвиток моделей оптимізації параметрів дренажу полягає, перш за все, у визначенні не умовної ефективності його роботи за оцінкою очікуваних втрат врожайності вирощуваних культур проектної сівозміни тільки в розрахункових посівний період, а оцінці загальної еколого-економічної ефективності, що формується як протягом розрахункових щодо умов тепло- й вологозабезпеченості періодів вегетації, так і в межах проектного терміну роботи регулюючої мережі і системи в цілому за комплексними моделями оптимізації та відповідним комплексом прогнозно-імітаційних субмоделей, суть побудови та реалізації яких викладена в попередніх розділах.

### **8.3.2. Оптимізація розрахункової забезпеченості і параметрів магістральних каналів та регульованих водоприймачів**

Магістральні канали й відрегульовані водоприймачі осушувальних систем призначені для приймання та відведення з осушуваної території надлишкової води, що збирається регулюючою та огорожувальною мережами. Відповідно режими роботи цих елементів осушувальних систем та їх параметри також істотно впливають на загальну ефективність роботи системи в цілому та її вартість.

Визначення проектних розмірів поперечного перетину магістральних каналів і водоприймачів та перевірка їх стійкості за діючими нормативами здійснюється, як правило, з урахуванням умов пропускання розрахункових нормованих витрат 10% забезпеченості (весняної повені, посівного періоду,

літньо-осіннього паводку, меженного періоду) на основі відповідних гідравлічних розрахунків.

Виконані натурні дослідження ефективності роботи діючих крупних осушувальних каналів і відрегульованих водоприймачів показали, що в багатьох випадках прийнята в розрахунках 10 % забезпеченість розрахункових витрат є завищеною і призводить до невиправданого, з економічної та екологічної точок зору, збільшення перетинів каналів та їх заглиблення й, відповідно, капітальних затрат на їх будівництво чи реконструкцію і експлуатаційних витрат на їх утримання.

Підтвердженням цьому є тривала і цілком задовільна робота багатьох діючих магістральних каналів і водоприймачів, розрахованих, у свій час, ще на 25 % забезпеченість посівної витрати.

Крім того, цілком очевидно, що розрахункова забезпеченість має бути тим меншою, чим більша площа осушуваних земель, що обслуговуються каналом, чим більш цінні й чутливі до перезволоження культури, включені до складу проектної сівозміни, та чим вища їх проектна врожайність.

Тобто, чим вища інтенсивність використання меліорованих сільськогосподарських угідь, тим надійніша має бути робота осушувальної мережі, включаючи водоприймач й, відповідно, менша розрахункова забезпеченість. Але в різних природно-агро-меліоративних умовах реальних об'єктів рівні сільськогосподарського використання меліорованих земель можуть істотно відрізнятись, однак згідно діючих нормативів розрахункова забезпеченість для визначення параметрів водоприймальних каналів закладається однаковою.

При цьому в діючих нормах проектування, з одного боку, ніби то вказується на необхідність техніко-економічного обґрунтування при виборі конструктивних рішень меліоративних систем та їх складових технічних елементів. Але, з іншого боку, реалізація таких рекомендацій стримуються відсутністю відповідного методичного забезпечення виконання необхідних інженерних прогнозно-оптимізаційних розрахунків.

На основі розглянутих вище принципів реалізації економіко-математичного підходу до обґрунтування оптимальних параметрів дренажу, нами розроблений аналогічний підхід до обґрунтування оптимальної розрахункової забезпеченості і параметрів магістральних каналів (водоприймачів) в проектах будівництва й реконструкції осушувальних систем, суть якого полягає в наступному.

Для обґрунтування оптимальної розрахункової забезпеченості і параметрів перерізу магістрального каналу осушувальної системи економіко-математичний метод реалізується за умовою (8.3) відповідно до інтерпретації економічної складової (8.2) комплексної моделі оптимізації.

При цьому, як альтернативні варіанти проектних рішень щодо розрахункової забезпеченості осушувальних гідравлічно розрахованих каналів розглядаються посівні витрати сукупності  $\{p\}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$  ( $n_p = 5$ )

відповідно 10, 15, 20, 25 і 30% забезпеченості.

За відсутності даних багаторічних спостережень розрахункові витрати визначаються через гідрологічні розрахунки за емпіричними залежностями згідно.

Як *модель параметрів конструкції* для визначення параметрів відкритих каналів використані загальноприйняті моделі виконання гідравлічних розрахунків. Відповідно до ДБН В.2.4-1-99 при рівномірному русі води в каналах витрата  $Q$  (м<sup>3</sup>/с) визначається за формулою

$$Q = S \cdot v = S \cdot C \sqrt{R_i}, \quad (8.9)$$

де  $S$  – площа живого перетину, м<sup>2</sup>;

$v$  – швидкість течії води, м/с;

$C$  – коефіцієнт Шезі, м<sup>0.5</sup>/с;

$R$  – гідравлічний радіус, м

$$R = S / f; \quad (8.10)$$

$f$  – змочений периметр, м;

$i$  – гідравлічний ухил.

Для найбільш поширеного в практиці осушення трапецоїдального каналу

$$S_{ip} = (b_i + m_i h_{ip}) h_{ip}, \quad i = \overline{1, n_i}; \quad p = \overline{1, n_p}; \quad (8.11)$$

$$f_{ip} = b_i + 2 h_{ip} \sqrt{1 + m^2}, \quad i = \overline{1, n_i}; \quad p = \overline{1, n_p}, \quad (8.12)$$

де  $b$  – ширина каналу по дну, м;

$m$  – коефіцієнт закладання укосів каналу;

$h$  – глибина наповнення каналу за розрахунковою витратою, м.

Розрахункова схема до обґрунтування параметрів каналів за розглянутими умовами подана на рис. 8.5.

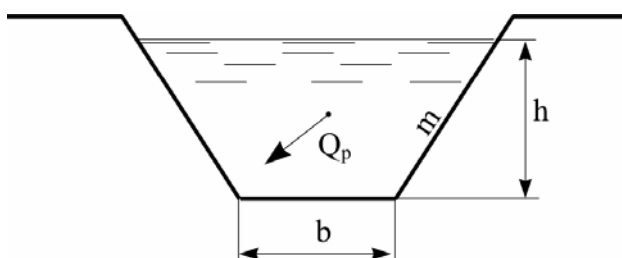


Рис. 8.5. Розрахункова схема до гідравлічного розрахунку каналу

Як і для визначення параметрів дренажу, в даних прогнозно-оптимізаційних розрахунках використовується формула (8.4), в якій коефіцієнт математичного очікування зниження врожайності  $\gamma_{kp}$  залежно від забезпеченості розрахункового періоду, як *функція зв'язку параметрів*



ефекту з параметрами конструкції, характеризується даними табл. 8.2.

Таблиця 8.2

Значення  $\gamma_{kp} = f(p)$ ,  $k = \overline{1, n_k}$ ;  $p = \overline{1, n_p}$

Забезпеченість, $p$ (%)	Зернові	Льон	Картопля	Кормовий буряк	Кукурудза на силос	Однорічні трави на зел. корм	Покращені сінокоси і пасовища
<b>10</b>	0,07	0,02	0,00	0,01	0,02	0,06	0,02
<b>15</b>	0,17	0,10	0,08	0,06	0,11	0,10	0,025
<b>20</b>	0,23	0,16	0,10	0,13	0,25	0,24	0,08
<b>25</b>	0,30	0,22	0,12	0,20	0,32	0,35	0,14
<b>30</b>	0,42	0,40	0,22	0,39	0,54	0,52	0,29

Узагальнена структурна блок-схема реалізації прогнозно-оптимізаційних розрахунків з обґрунтування розрахункової забезпеченості і параметрів магістральних каналів за економіко-математичним методом подана на рис. 8.6 і додаткових коментарів не потребує.

За результатами прогнозно-оптимізаційних розрахунків визначається оптимальна, економічно вигідна щодо конкретних природно-агро-меліоративних умов досліджуваного об'єкта розрахункова забезпеченість розрахункової витрати та відповідний до неї варіант проектного технічного рішення щодо конструкції і параметрів поперечного перетину каналу.

Основні результати розрахунку з обґрунтування оптимальної розрахункової забезпеченості параметрів магістрального каналу осушувальних систем за розглянутим економіко-математичним підходом для конкретних природно-агро-меліоративних умов одного з реальних, досліджених нами об'єктів в зоні осушувальних меліорацій України на прикладі магістрального каналу «Тня» Червоноармійського району Житомирської області ( $F = 1421$  га) наведені в табл. 8.3.

Наочне представлення залежності оптимальної розрахункової забезпеченості й, відповідно, параметрів магістрального каналу від продуктивності осушуваних земель для умов розглянутого об'єкта подане в табл. 8.4 та на рис. 8.7.



Рис. 8.6. Структурна блок-схема реалізації прогнозно-оптимізаційних розрахунків з обґрунтування розрахункової забезпеченості і параметрів магістральних каналів (водоприймачів) за економіко-математичним методом

Таблиця 8.3

Основні результати оптимізаційних розрахунків  
для МК «Тня» Червоноармійського р-ну Житомирської обл.

Забезпеченість, $p$ (%)	Розрахункові витрати $Q_p$ (м <sup>3</sup> /с)	Параметри каналу			$ZP_i$ , крб/га	$\Delta Y_i$ , крб/га	$ZP_i + \Delta Y_i$ , крб/га
		$b$ , м	$m$	$h$ , м			
<b>10</b>	21,81	6	2,5	2,2	329,66	13,00	342,66
<b>15</b>	14,44	6	2,5	1,8	304,86	40,78	345,74
<b>20</b>	11,06	4	2,5	1,8	270,32	65,60	335,92
<b>25</b>	<b>8,91</b>	<b>3</b>	<b>2,5</b>	<b>1,76</b>	<b>250,91</b>	<b>82,58</b>	<b>333,49</b>
<b>30</b>	7,86	2	2,5	1,81	218,74	143,13	361,87

Примітка. Виділені розраховані за нормативом (витрата 10% забезпеченості) та відповідний оптимальний варіант конструкції та параметрів магістрального каналу (витрата 25% забезпеченості).

Таблиця 8.4

Узагальнені результати обґрунтування оптимальної розрахункової забезпеченості і параметрів магістральних каналів від продуктивності осушуваних земель, крб./га

$p$ , %	$ZP_i$	$\Delta Y_i$			$ZP_i + \Delta Y_i$		
		I	II	III	I	II	III
10	330	2	13	38	332	343	368
15	305	9	41	70	314	346	375
20	270	38	66	110	308	336	380
25	250	56	82	140	306	333	390
30	220	80	143	218	300	362	438

Примітка. Виділені оптимальні варіанти розрахункової забезпеченості витрат й відповідних параметрів магістрального каналу щодо різних рівнів продуктивності осушуваних земель.

$Z$ , крб/га

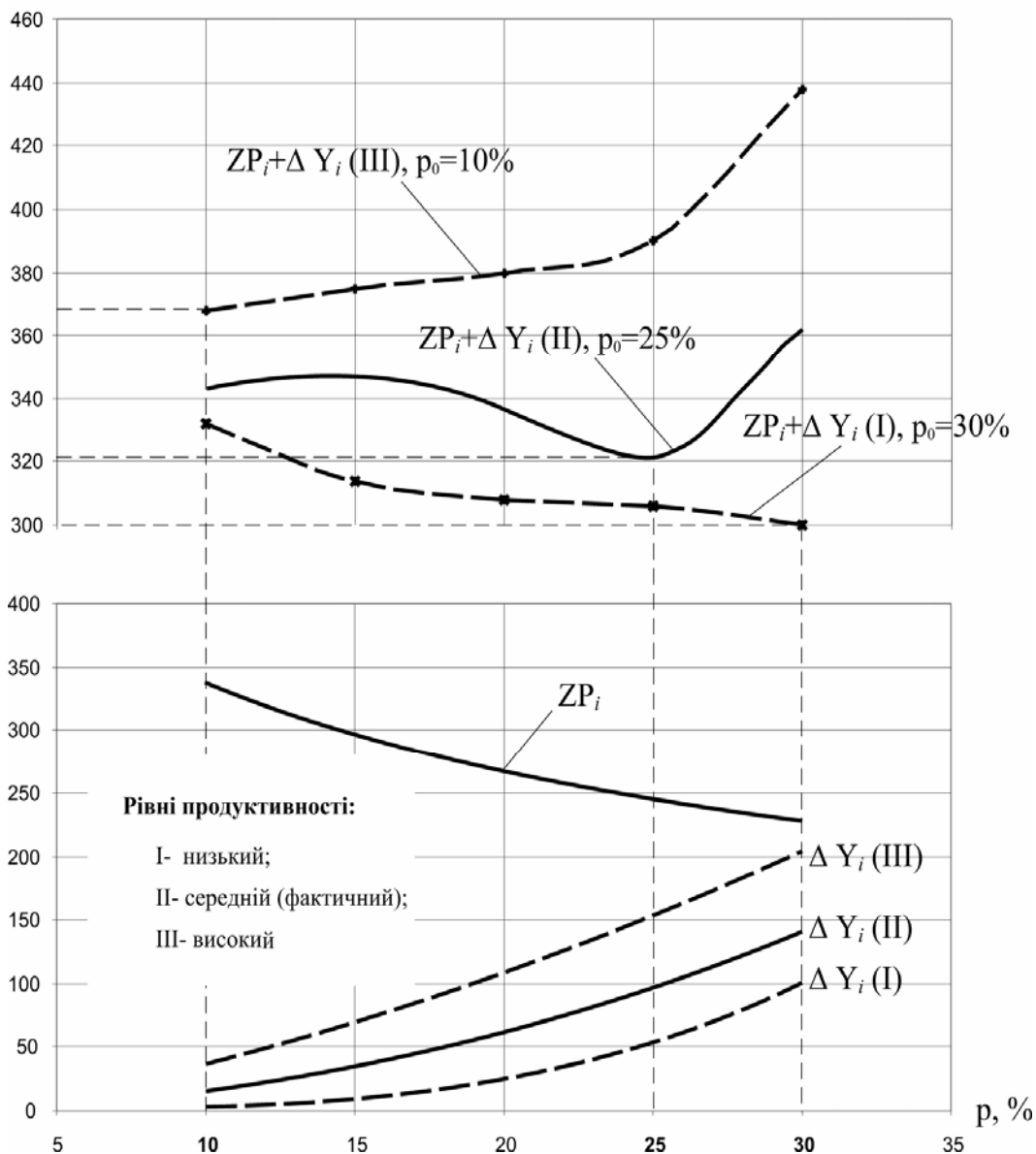


Рис. 8.7. Залежність оптимальної розрахункової забезпеченості і параметрів магістральних каналів від рівнів продуктивності осушуваних земель

Напрямок подальшого розвитку й удосконалення моделей оптимізації розрахункової забезпеченості і параметрів магістральних каналів (водоприймачів) в проектах будівництва й реконструкції осушувальних систем цілком аналогічний як і для параметрів регулюючої мережі.

### ***Контрольні питання***

1. Що собою представляє САПР?
2. Які ви знаєте етапи ескізного проектування в структурі САПР ВГО.
3. За яким методом виконується оптимізація параметрів регулюючої мережі?
4. Які ви знаєте два основні методи розрахунку дренажу?
5. Поясніть блок-схему реалізації прогнозно-оптимізаційних розрахунків з обґрунтування параметрів дренажу за економіко-математичним методом?
6. Поясніть принципи оптимізації розрахункової забезпеченості і параметрів магістральних каналів та регульованих водоприймачів?

## Тема 9. Рекомендації до виконання розрахунково-графічної роботи

### 9.1. Склад розрахунково-графічної роботи

Склад розрахунково-графічної роботи на тему «Оптимізація проектних рішень з водорегулювання осушуваних земель на багатоваріантній основі»:

1. Природно-меліоративні умови об'єкта.
2. Розрахунки за програмою «BALANS».
3. Розрахунки за програмою «DRENAG».
4. Розрахунки за програмою «REGIM -TEO».

Висновки.

Література.

*Практична частина.*

Завдання на проектування осушувальних систем складається на основі схеми комплексного використання і охорони водно-земельних ресурсів, а великих та складних систем і споруд – за техніко-економічним обґрунтуванням.

У загальному випадку завдання має вміщувати такі дані: назва осушувальної системи; місцезнаходження; підстави для проектування; призначення меліоративної системи; напрямок розвитку сільськогосподарського виробництва; тип господарства, ферми, комплексу або підприємства, яке буде освоювати меліоровані землі; головні вимоги до конструкції меліоративної мережі і способи регулювання режиму ґрунтів; дані для проектування об'єктів житлового, побутового і виробничого призначення; стадійність проектування; терміни будівництва і освоєння; назви проектної і будівельної організацій.

Проекти осушувальних систем всіх типів мають забезпечити: сучасний технічний рівень; раціональне використання осушених земель і сільськогосподарської техніки на польових роботах; надійність і довговічність запроектованих споруд; підтримку сприятливого водного режиму в кореновому шарі ґрунту; високий рівень автоматизації управління системою; вимоги щодо охорони природи і навколишнього середовища.

У навчальних цілях при виконанні студентами РГР використовуються вихідні дані, що сформовані на основі багаторічних інженерно-меліоративних вишукувань на реальних об'єктах і подані у відповідних методичних розробках кафедри водної інженерії та водних технологій.

Наведемо приклад вибору вихідних даних:

1. Ґрунти – суглинки.
2. Коефіцієнт фільтрації – 0,5 м/добу.
3. Відстань до водоупору – 2,5 м.
4. Область – Рівненська.
5. Річна норма опадів – 417 мм.

Сівозміна складається з п'яти полів:

- багаторічні трави на сіно;
- ярові зернові;
- цукровий буряк;
- картопля;
- кукурудза на силос;
- буряк кормовий.

Топографічний план системи зображений у масштабі 1:5000, площа ділянки – 384,5 га ( визначається точно за вибраним варіантом).

## **9.2. Розрахунки за програмою «BALANS»**

Програма «BALANS» призначена для автоматизованого розрахунку на комп'ютері оцінки ефективності різних технологій водорегулювання осушуваних земель та вибору раціональної кількості варіантів проектних рішень типів та конструкцій гідромеліоративних систем.

Основними джерелами даних для отримання результатів розрахунків є дані нормативно-технічної проектної документації. Для підготовки початкових даних можуть бути використані друковані бланки (табл. А.1).

Завдання: оцінити ефективність застосування різних технологій водорегулювання та вибрати раціональну кількість можливих варіантів технічних рішень.

*Порядок виконання:*

1. Заповнюємо картку введення початкових даних (табл. А.1).
2. Вводимо початкові дані в програмі і виконуємо розрахунок. Результати водобалансових розрахунків наведені в табл. А.6.

При виконанні водобалансових розрахунків для умов заданого об'єкту формуються такі групи вхідних даних.

*1. Загальна характеристика об'єкта:*

- шифр зони, середньо багаторічні значення опадів за вегетацію та відповідна сума середньодобових дефіцитів вологості (табл. А.2);
- кількість культур у сівозміні, може приймати значення від 1 до 10;
- кількість ґрунтів на ділянці, від 1 до 5.

*2. Характеристика ґрунтів:*

- шифри ґрунту (табл. А.3);
- продуктивний запас вологи в розрахунковому шарі ґрунту 0,5 м на початок вегетаційного періоду, може приймати значення від 300 до 700 м<sup>3</sup>/га (табл. А.3);
- площу розповсюдження ґрунту на ділянці, приймає значення від 400 до 600 га та визначається за відповідним варіантом

*3. Проектне сільськогосподарське використання земель:*

- шифри культури проектної сівозміни, може приймати значення від 1 до 17 (табл. А.4);
- частка культури в сівозмінні, має значення менші за 1 та більші за 0.

#### *4. Технічна характеристика гідромеліоративної системи:*

- к.к.д. елементів регулюючої і провідної мережі. Значення к.к.д. встановлюється дослідним шляхом або приймається орієнтовно в залежності від виду ґрунту:

а) для зволоження шлюзуванням  $\eta_{\text{зш}}=0,6...0,8$ ;

б) для зволоження дощуванням  $\eta_{\text{д}}=0,7...0,9$ ;

в) для каналів  $\eta_{\text{к}}=0,75...0,9$ ;

г) для трубопроводів  $\eta_{\text{тр}}=0,9...0,95$ .

Нижні границя значень к.к.д. відповідають достатньо водопроникним /піщаним, супіщаним, торф'яним/, а верхня – слабо водопроникним ґрунтам /суглинистим, глинистим/.

- можливі способи регулювання водно-повітряного режиму ґрунтів:

а) попереджувальне шлюзування;

б) зрошення дощуванням;

в) підґрунтове зволоження;

г) осушення.

- поливна норма за розрахункову декаду задається лише у випадку застосування зрошення дощуванням. При цьому величина поливної норми нетто залежить від механічного складу ґрунту, виду дощувальної техніки, що застосовується, водозабезпеченості системи і складає  $m=200...400 \text{ м}^3/\text{га}$ .

*Висновок:* за результатами розрахунків у даних умовах доцільно розглянути можливість проектування осушувальної системи з попереджувальним шлюзуванням, підґрунтовым зволоженням і передбачити осушення плюс зрошення дощуванням та попереджувальне шлюзування на фоні зрошення дощуванням для багаторічних трав.

### **9.3. Розрахунки за програмою «DRENAG»**

Програмою «DRENAG» призначена для автоматизованого розрахунку на комп'ютері оптимальної конструкції та параметрів горизонтального дренажу осушувальних систем, розрахункового модуля дренажного стоку.

Для підготовки початкових даних можуть бути використані друковані бланки (табл. Б.1).

Завдання: визначити відстань між гончарними дренами діаметром 50, 75 і 100 мм і дренами і ПВП діаметром 50 і 63 мм при різній конструкції фільтра; вибирати із всіх досліджуваних варіантів дренажу найбільш економічно-оптимальний.

*Порядок виконання:*

1. Заповнюємо картку введення початкових даних (табл. Б.1).

2. Вводимо початкові дані і виконується розрахунок.

Узагальнюючі результати прогнозно-оптимізаційних розрахунків наведені в (табл. Б.2)

Для виконання оптимізаційних розрахунків умов заданого об'єкту формуються такі групи вхідних даних.



### *1. Загальні умови розрахунку.*

Щоб визначити умови розрахунку потрібно задати:

- емпіричні (зональні) коефіцієнти  $A_G$ ,  $B_G$ , які визначаються по карті ізоліній з точністю до одиниці;
- кількість культур в сівозміні (від 1 до 10);
- кількість діаметрів пластмасових труб (від 1 до 2);
- шифри фільтраційної схеми (від 1 до 6) (Рис. Б.2).

### *2. Гідрогеологічні умови.*

Щоб визначити гідрогеологічні умови потрібно задати:

- коефіцієнт фільтрації верхнього, середнього, нижнього шару ґрунту з точністю до 0,01 м/доб;
- товщину верхнього, середнього, нижнього шару ґрунту з точністю до 0,1 м;
- віддаль від осі дрени до водоупору 0,1 м;
- коефіцієнт водовіддачі з точністю до 0,01 (табл. Б.6).

### *3. Умови роботи дренажу та параметрів фільтрів.*

Щоб визначити умови роботи дренажу та параметри фільтрів потрібно задати:

- глибину ґрунтових вод, з точністю до 0,1 м;
- глибину закладки дрен з точністю до 0,01 м;
- фільтри з рулонних матеріалів з точністю до 0,01 м та їх коефіцієнти фільтрації (табл. Б.5), ширину фільтрів з рулонних матеріалів.
- ширину та товщину піщано гравійної засипки з точністю до 0,01 м та її коефіцієнти фільтрації, м/добу.

### *4. Конструкція гончарних дрен та їх кошторисна вартість.*

Щоб визначити конструкцію гончарних дрен та їх кошторисну вартість потрібно задати:

- діаметр дрен, мм;
- діаметр перфорації, см;
- крок перфорації, м;
- кількість рядів перфорації;
- витрати на будівництво відповідно до шифру фільтрів, у.о./м.

### *5. Конструкція пластмасових дрен та їх кошторисна вартість.*

Щоб визначити конструкцію пластмасових дрен та їх кошторисну вартість потрібно задати:

- діаметри дрен, мм;
- діаметри перфорації, см;
- крок перфорації, м;
- кількість рядів перфорації;
- витрати на будівництво відповідно до шифру фільтрів, у.о./м. (табл. Б.7, Б.8).

### *6. Проектне сільськогосподарське використання земель.*

Щоб визначити проектне сільськогосподарське використання земель

потрібно задати:

- шифри культури (табл. Б.3);
- площу під культуру, га;
- проектну врожайність, ц/га (табл. Б.4);
- закупівельну ціну на сільськогосподарську продукцію у.о./ц (табл. Б.4).

*Варіанти конструкцій дренажу за відповідними шифрами:*

1. Труби гончарні без фільтру чи з внутрішніми з'єднувальними муфтами.
2. Труби гончарні з суцільною обгорткою фільтром із рулонних матеріалів.
3. Труби гончарні з фільтром у вигляді полоски на стиках.
4. Труби гончарні з фільтром із рулонних матеріалів у вигляді суцільної полоси знизу і полосок на стиках.
5. Труби гончарні із гравійно-пісчаною засипкою.
6. Труби пластмасові із суцільною обгорткою.
7. Труби пластмасові із пісчано-гравійною засипкою.

*Початкові дані.* Об'єкт площею 384,5 га розташований в Рокитнівському районі Рівненської області. Водонасичений шар представлений трьома шарованими ґрунтами потужністю  $m_1 = 2,5$  м,  $m_2 = 1,7$  м,  $m_3 = 1,5$  м, з коефіцієнтом фільтрації  $K_1 = 0,5$  м/доб;  $K_2 = 0,7$  м/доб;  $K_3 = 1,0$  м/доб. Водоупор розміщений на глибині 5,7 м від поверхні землі.

*Висновок.* За розглянутими умовами заданого об'єкта кращі економічні показники досягаються при проектуванні пластмасового дренажу з суцільною обгорткою рулонним фільтруючим матеріалом діаметром 63 мм, міждренну відстань приймаємо  $E_i = 28,0$  м (табл. Б.2).

Розрахунковий модуль дренажного стоку, за яким слід визначати діаметр дренажного колектора, складає 0,54 л/с-га.

Цьому варіанту відповідає абсолютний мінімум приведених витрат у сумі з вірогідними втратами урожаю, що дорівнює 242 у.о./га.

Визначивши відстань між дренами, проектують планове розміщення дрен. Приклад проектування дренажно-колекторної мережі, каналів, відповідних гідротехнічних споруд та трубчастого шлюза-регулятора з переїздом за допомогою програмного комплексу Autodesk AutoCAD представлено на рис. Б.3-Б.5.

#### **9.4. Розрахунки за програмою «REGIM -TEO»**

Програма «REGIM -TEO» призначена для виконання автоматизованих розрахунків на комп'ютері по обґрунтуванню необхідності зволоження осушуваних земель, вибору оптимального способу регулювання водного

режиму ґрунтів, прийняття раціональної схеми роботи системи двосторонньої дії і складання плану водокористування.

Для підготовки початкових даних можуть бути використані друковані бланки (табл. В.1).

Завдання: оцінити ефективність застосування різних технологій водорегулювання та вибрати найбільш економічно-оптимальний режимно-технологічний варіант проектного рішення.

*Порядок виконання:*

1. Заповнюємо картку введення початкових даних (табл. В.1).
2. Вводимо початкові дані і виконуємо розрахунок. Результати техніко-економічних розрахунків наведені в табл. В.7.

Розрахунки складаються з двох частин, перша – режимно-технологічні, друга – економічно-оптимізаційні розрахунки.

1. При заповненні початкових даних на бланку необхідно керуватись наступними правилами.

*Загальна характеристика системи в цілому:*

- шифр зони (табл. В.3);
- кількість шлюзів на магістральному каналі, в розрахунку приймаємо 1 шлюз.

*Характеристика модульної ділянки системи:*

- шифр шлюзу, кількість каналів або трубопроводів провідної розподільчої мережі в межах балансового модуля, що розглядається;
- коефіцієнт корисної дії ділянки магістрального каналу чи трубопроводу. В розрахунках прийнято згідно нормативів для зрошення дощуванням ККД=0,85, а зволоження шлюзуванням ККД=0,75. Для тих полів, де зрошення дощуванням не розглядається, вводимо ККД=1,00;
- величина забору (притоку) води на модульну ділянку, приймаємо 0;
- величина суми атмосферних опадів, приймає значення від 300 до 600 мм (табл. В.3);
- величина суми середньодобових дефіцитів вологості повітря опадів, приймає значення від 800 до 950 мм (табл. В.3).

*Загальна характеристика розподільчого каналу (трубопроводу) і полів:*

- шифр каналу чи трубопроводу;
- кількість сільськогосподарських полів, підключених до даного каналу чи трубопроводу;
- коефіцієнт корисної дії (к.к.д.) каналу чи трубопроводу, що розглядається. Згідно нормативів для зрошення дощуванням ККД=0,85, а зволоження шлюзуванням ККД=0,75. Для тих полів, де зрошення дощуванням не розглядається, вводимо ККД=1,00;
- шифр культури (приймає значення від 1 до 17, табл. В.5);
- проектна урожайність і-тої культури сівозміни, ц/га, приймається по даних вишукувань і завдання на проектування (табл. В.6);
- такі величини, як площа поля задається з точністю до десятих, запаси продуктивної вологи і поливна норма при зрошення дощуванням – до цілих.

При цьому величина запасу продуктивної вологи та поливна норма нетто залежать від механічного складу ґрунту, виду дощувальної техніки, що застосовується, водозабезпеченості системи. Продуктивний запас вологи приймає значення 300...700 м<sup>3</sup>/га (табл. В.4), поливна норма складає m=200...400 м<sup>3</sup>/га.

2. Для виконання економічного розрахунку необхідно керуватись наступними правилами:

- можливі способи регулювання водного режиму ґрунтів вказані в наступній послідовності (табл. В.2):

- попереджувальне шлюзування;
- зрошення дощуванням на фоні попер жувального шлюзування;
- підґрунтове зволоження;
- осушення;
- дощування на фоні осушення;

- планові сільськогосподарські витрати і-тої культури сівозміни, ц/га, приймається по даних вишукувань і завдання на проектування (табл. В.6);

- закупівельна ціна, у.о./ц, приймає значення залежно від виду і-тої культури сівозміни.

Капіталовкладення та витрати на експлуатацію визначаються кошторисом будівництва об'єкта або задаються за питомими укрупненими показниками. При виборі оптимального способу регулювання водного режиму ґрунтів на кожному сільськогосподарському полі в програмі вводяться всі можливі на даній ділянці системи способи регулювання у відповідності з її конструкцією і можливостями.

*Початкові дані.* Як приклад розглядається об'єкт, розташований у Рівненській області, площею 384,5 га. Ґрунт на ділянці суглинистий, з коефіцієнтом фільтрації 0,5 м/добу.

Структура сільськогосподарського використання осушуваних земель, проектні питомі с/г витрати, проектна врожайність та закупівельні ціни приведені в табл. В.6. Для зручності виконання оптимізаційних розрахунків вартість показників приймаємо в у.о., 1 у.о.≈1\$.

*Висновок:* за розрахунками програми (табл. В.7) оптимальним проектним рішенням є осушувальна система.

## ВПРАВИ

**Вправа 1.** За результатами прогнозно-імітаційних розрахунків за програмою «BALANS» визначити раціональну кількість варіантів проектних рішень щодо типу та конструкції меліоративної системи в заданих умовах, якщо: об'єкт розташований в Сумській області; ґрунти – супіски;  $k_{\phi} = 1$  м/добу; показник водного балансу за прогнозно-імітаційними розрахунками складає такі значення для сільськогосподарських культур проектної сівозміни:

Культура проектної сівозміни	p, %	Попереджу- вальне шлюзування		Зрошення дощуванням		Підґрунтове зволоження		Осушення	
		VVI	MP	VVI	MP	VVI	MP	VVI	MP
Багаторічні трави на сіно	50	1671	0	1671	0	1942	0	1512	112
	75	2829	201	1759	0	3087	0	2380	650
	90	3934	382	1690	0	4308	8	2957	1360
Озимі зернові	50	423	0	423	0	368	0	440	0
	75	876	161	764	0	1226	0	636	401
	90	1436	624	722	0	1980	80	885	1174
Буряк кормовий	50	676	0	613	0	797	0	627	0
	75	1468	150	1070	0	1725	0	1123	495
	90	2237	514	1063	0	2782	0	1479	1272
Картопля	50	787	0	665	0	916	0	614	0
	75	1345	225	992	0	1737	0	1051	519
	90	2070	492	988	0	2605	0	1360	1202
Ярові зернові	50	480	0	480	0	491	0	440	0
	75	959	120	667	0	1219	0	691	388
	90	1526	577	731	0	2060	43	956	1146
Кукурудза на силос	50	142	0	142	0	194	0	72	0
	75	716	139	584	0	1033	0	493	362
	90	1178	527	622	0	1713	0	703	1003

Позначення:

VVI – величина живлення розрахункового шару ґрунту з рівня ґрунтових вод,  $\text{м}^3/\text{га}$ .

MP – показник водного балансу за розрахунковий період вегетації,  $\text{м}^3/\text{га}$ .

p – розрахункова забезпеченість, %.

**Вправа 2.** За результатами прогнозно-оптимізаційних розрахунків за програмою «DRENAG» визначити найбільш економічно оптимальний варіант щодо типу конструкції та параметрів сільськогосподарського дренажу на осушуваних землях, якщо: об'єкт розташований у Рівненській області. Ділянка площею 487,5 га; ґрунти – суглинки легкі; з  $k_{\phi}=0,4$  м/добу,

водотривкий шар ґрунту розміщений на глибині 3,7 м, сільськогосподарські культури проектної сівозміни – багаторічні трави, льон, кормовий буряк, однорічні трави, кукурудза на силос, картопля, овочі.

Варіанти конструкцій дренажу	Діаметр, мм.	Оптимум для даного варіанту		Мінімум затрат і витрат врожаю як критерій оптимізації, у.о./га
		модуль дренажного стоку, $q$ <i>л/с·га</i>	відстані між дренами $B$ , м.	
1	50,0	0,49	17,84	299,90
1	75,0	0,48	22,46	270,38
1	100,0	0,45	28,38	332,46
2	50,0	0,49	28,48	278,11
2	75,0	0,49	30,06	291,99
2	100,0	0,49	33,20	304,87
3	50,0	0,49	25,22	275,09
3	75,0	0,49	26,89	289,18
3	100,0	0,49	29,99	301,09
4	50,0	0,49	27,66	275,00
4	75,0	0,49	29,29	288,56
4	100,0	0,49	30,61	300,64
5	50,0	0,33	73,73	417,31
5	75,0	0,33	74,00	422,44
5	100,0	0,33	74,20	427,63
6	50,0	0,49	27,59	275,44

**Варіанти конструкцій дренажу за відповідними шифрами:**

1. Труби гончарні без фільтру чи з внутрішніми з'єднувальними муфтами.
2. Труби гончарні з суцільною обгорткою фільтром із рулонних матеріалів.
3. Труби гончарні з фільтром у вигляді полоски на стиках.
4. Труби гончарні з фільтром із рулонних матеріалів у вигляді суцільної полоси знизу і полосок на стиках.
5. Труби гончарні із гравійно-піщаною засипкою.
6. Труби пластмасові із суцільною обгорткою.
7. Труби пластмасові із піщано-гравійною засипкою.

**Вправа 3.** Визначити теоретично можливу кількість варіантів проектних рішень щодо типу та конструкції меліоративної системи за відповідними варіантами схем водорегулювання осушуваних земель у заданих умовах, якщо: об'єкт розташований в Полтавській області; ділянка площею 284 га; ґрунти – легкі суглики;  $k_{\phi} = 0,5$  м/добу; рельєф місцевості характеризується ухилами поверхні від 0,004 до 0,0008; є джерело поливної води в

необмеженій кількості; сільськогосподарські культури проектної сівозміни сукупності  $\{k\}, k = \overline{1, n_k}$  – багаторічні трави на сіно, картопля, буряк кормовий, кукурудза на силос, овочеві.

**Вправа 4.** За результатами прогнозно-імітаційних розрахунків за програмою «BALANS» визначити раціональну кількість варіантів проектних рішень щодо типу та конструкції меліоративної системи в заданих умовах, якщо: об'єкт розташований в Полтавській області; ґрунти – суглинки легкі;  $k_\phi = 0,6$  м/добу; показник водного балансу за прогнозно-імітаційними розрахунками складає такі значення для сільськогосподарських культур проектної сівозміни:

Культура проектної сівозміни	p, %	Попереджувальне шлюзування		Зрошення дощуванням		Підґрунтове зволоження		Осушення	
		VVI	MP	VVI	MP	VVI	MP	VVI	MP
Багаторічні трави на сіно	50	6424	25	3743	0	6471	0	6304	147
	75	7735	45	3721	0	7861	0	7212	568
	90	8839	143	3661	0	9440	0	7948	1034
Буряк кормовий	50	929	0	869	0	1081	0	740	0
	75	1572	162	1185	0	1911	0	1206	529
	90	2251	533	1148	0	2807	0	1486	1299
Кукурудза на силос	50	281	0	280	0	342	0	319	0
	75	763	166	625	0	1094	0	526	403
	90	1129	587	622	0	1690	26	664	1053
Картопля	50	894	0	894	0	1034	0	725	0
	75	1440	228	1099	0	1923	0	1126	541
	90	2075	510	1067	0	2586	0	1361	1225
Овочеві	50	747	0	696	0	892	-87	553	0
	75	1319	147	1149	0	1839	0	1005	529
	90	1940	444	1040	0	2445	0	1267	1117

Позначення:

VVI – величина живлення розрахункового шару ґрунту з рівня ґрунтових вод,  $\text{м}^3/\text{га}$ .

MP – показник водного балансу за розрахунковий період вегетації,  $\text{м}^3/\text{га}$ .

p – розрахункова забезпеченість, %.

**Вправа 5.** За результатами прогнозно-оптимізаційних розрахунків за програмою «REGIM TEO» визначити найбільш економічно оптимальний режимно-технологічний варіант проектного рішення, щодо типу та конструкції меліоративної системи, якщо: об'єкт розташований у Рівненській області. Ділянка площею 487,5 га; ґрунти – суглинки легкі;  $k_\phi = 0,6$  м/добу, сільськогосподарські культури проектної сівозміни –

багаторічні трави , багаторічні трави, льон, кормовий буряк, кукурудза на силос, картопля, помідори.

№ з/п	Варіанти проектних рішень	Приведені витрати, у.о./га	Чистий прибуток у.о./га
1.	Осушувальна система з попереджувальним шлюзуванням	696,1	116,0
2.	Осушувальна система з попереджувальним шлюзуванням + зрошення дощуванням багаторічних трав	770,4	107,8
3.	Осушувально-зволожувальна система	706,9	121,9
4.	Осушувальна система	690,9	107,2
5.	Осушувальна система + зрошення дощуванням багаторічних трав	853,4	94,7

**Вправа 6.** За результатами прогнозно-імітаційних розрахунків за програмою «BALANS» визначити раціональну кількість варіантів технологій водорегулювання осушуваних земель, якщо: об'єкт розташований у Рівненській області; площа поля 84,5 га, ґрунти – суглинистий,  $k_{\phi}=0,5$  м/добу; показник водного балансу за прогнозно-імітаційними розрахунками складає такі значення для сільськогосподарської культури проектної сівозміни:

Культура проектної сівозміни	p, %	Попереджувальне шлюзування		Зрошення дощуванням		Підґрунтове зволоження		Осушення	
		VVI	MP	VVI	MP	VVI	MP	VVI	MP
Багаторічні трави на сіно	50	1190	0	1190	0	1242	0	1028	0
	75	1914	207	1471	0	2615	0	1538	584
	90	3027	381	1609	0	3469	0	2194	1214

Позначення:

VVI – величина живлення розрахункового шару ґрунту з рівня ґрунтових вод,  $\text{м}^3/\text{га}$ .

MP – показник водного балансу за розрахунковий період вегетації,  $\text{м}^3/\text{га}$ .

p – розрахункова забезпеченість, %.

**Вправа 7.** За результатами прогнозно-імітаційних розрахунків за програмою «BALANS» визначити раціональну кількість варіантів проектних рішень щодо типу та конструкції меліоративної системи в заданих умовах, якщо: об'єкт розташований в Закарпатській області; ґрунти – глини,  $k_{\phi} = 0,1$  м/добу; показник водного балансу за прогнозно-імітаційними розрахунками складає такі значення для сільськогосподарських культур проектної сівозміни:



Культура проектної сівозміни	р, %	Попереджу- вальне шлюзування		Зрошення дощуванням		Підґрунтове зволоження		Осушення	
		VVI	MP	VVI	MP	VVI	MP	VVI	MP
Багаторічні трави на сіно	50	1508	0	1508	0	1539	0	1278	0
	75	2843	32	1824	0	3407	-182	2606	269
	90	4363	70	1999	0	4581	0	3840	594
Картопля	50	307	0	307	0	363	0	249	0
	75	1232	48	1011	0	1630	0	1019	261
	90	2325	178	993	0	2757	0	1672	831
Буряк кормовий	50	317	-39	317	0	399	-122	235	0
	75	1416	0	966	0	1706	0	1167	190
	90	2570	183	1091	0	2853	0	1874	879
Кукурудза на силос	50	150	-174	150	0	161	-185	164	-188
	75	983	0	609	0	1160	0	747	178
	90	1818	361	658	0	2204	0	1215	964
Овочеві	50	122	-179	122	0	105	-161	2	-58
	75	1175	0	1004	0	1412	-92	948	23
	90	2237	94	985	0	2633	0	1605	726

Позначення:

VVI – величина живлення розрахункового шару ґрунту з рівня ґрунтових вод,  $\text{м}^3/\text{га}$ .

MP – показник водного балансу за розрахунковий період вегетації,  $\text{м}^3/\text{га}$ .

р – розрахункова забезпеченість, %.

**Вправа 8.** За результатами прогнозно-оптимізаційних розрахунків за програмою «REGIM TEO» визначити найбільш економічно оптимальний варіант проектного рішення щодо типу та конструкції меліоративної системи, якщо: об'єкт розташований у Житомирській області; ділянка площею 358,5 га; ґрунти – піщані, з  $k_{\phi}=1,4$  м/добу, сільськогосподарські культури проектної сівозміни – багаторічні трави (сіно), озимі зернові, льон, картопля, ярі зернові

№ з/п	Варіанти проектних рішень	Приведені витрати, у.о./га	Чистий прибуток у.о./га
1.	Осушувальна система з попереджувальним шлюзуванням	769,9	279,1
2.	Осушувальна система з попереджувальним шлюзуванням + зрошення дощуванням багаторічних трав	855,5	263,4
3.	Осушувально-зволожувальна система	755,6	270,4
4.	Осушувальна система	788,3	257,1
5.	Осушувальна система + зрошення дощуванням багаторічних трав	818,9	256,2

**Вправа 9.** За результатами прогнозно-імітаційних розрахунків за програмою «BALANS» визначити раціональну кількість варіантів проектних рішень щодо типу та конструкції меліоративної системи в заданих умовах, якщо: об'єкт розташований в Черкаській області; ґрунти – суглинки середні,  $k_{\phi} = 0,5$  м/добу; показник водного балансу за прогнозно-імітаційними розрахунками складає такі значення для сільськогосподарських культур проектної сівозміни:

Культура проектної сівозміни	p, %	Попереджу- вальне шлюзування		Зрошення дощуванням		Підґрунтове зволоження		Осушення	
		VVI	MP	VVI	MP	VVI	MP	VVI	MP
Багаторічні трави на сіно	50	1686	0	1686	0	1958	0	1434	108
	75	2681	231	1829	0	3207	0	2216	695
	90	3816	343	1942	0	4207	0	2881	1278
Озимі зернові	50	451	0	451	0	389	0	472	0
	75	814	149	751	0	1202	0	580	382
	90	1242	712	676	0	1823	131	743	1210
Буряк цукровий	50	730	0	730	0	849	0	690	0
	75	1439	58	1067	0	1696	0	1093	403
	90	2002	396	964	0	2500	0	1276	1122
Однорічні трави - зел. корм.	50	1123	0	1123	0	1160	0	899	0
	75	1683	174	1339	0	2379	0	1348	509
	90	2500	326	1457	0	3104	0	1773	1075
Картопля	50	777	0	777	0	765	0	607	0
	75	1224	185	1017	0	1780	0	938	472
	90	1829	541	990	0	2358	11	1173	1196

Позначення:

VVI – величина живлення розрахункового шару ґрунту з рівня ґрунтових вод,  $\text{м}^3/\text{га}$ .

MP – показник водного балансу за розрахунковий період вегетації,  $\text{м}^3/\text{га}$ .

p – розрахункова забезпеченість, %.

**Вправа 10.** За результатами прогнозно-імітаційних розрахунків за програмою «BALANS» визначити раціональну кількість варіантів технологій водорегулювання осушуваних земель, якщо: об'єкт розташований у Рівненській області; площа поля 84,5 га, ґрунти – суглинистий,  $k_{\phi} = 0,5$  м/добу; показник водного балансу за прогнозно-імітаційними розрахунками складає такі значення для сільськогосподарської культури проектної сівозміни:

Культура проектної сівозміни	p, %	Попереджувальне шлюзування		Зрошення дощуванням		Підґрунтове зволоження		Осушення	
		VVI	MP	VVI	MP	VVI	MP	VVI	MP
Багаторічні трави на сіно	50	1190	0	1190	0	1242	0	1028	0
	75	1914	207	1471	0	2615	0	1538	584
	90	3027	381	1609	0	3469	0	2194	1214

Позначення:

VVI – величина живлення розрахункового шару ґрунту з рівня ґрунтових вод,  $m^3/га$ .

MP – показник водного балансу за розрахунковий період вегетації,  $m^3/га$ .

p – розрахункова забезпеченість, %.

**Вправа 11.** За результатами прогнозно-оптимізаційних розрахунків за програмою «REGIM TEO» визначити найбільш економічно оптимальний спосіб водорегулювання осушуваних земель для культури проектної сівозміни, якщо: об'єкт розташований у Київській області; площа поля 45 га; ґрунти за гранулометричним складом – супіщані,  $k_{\phi}=1,0$  м/добу.

Культура	Спосіб регулювання	Приведені витрати, грн/га	Чистий прибуток, грн/га
Багаторічні трави (сіно)	Попереджувальне шлюзування	219,7	12,1
	Зрошення дощуванням + попереджувальне шлюзування	304,7	-6,7
	Підґрунтове зволоження	240,6	7,9
	Осушення	204,2	13,7
	Зрошення дощуванням +осушення	389,1	-21,2

**Вправа 12.** За результатами прогнозно-імітаційних розрахунків за програмою «BALANS» визначити раціональну кількість варіантів технологій водорегулювання осушуваних земель, якщо: об'єкт розташований у Полтавській області; площа поля 64,5 га, ґрунти – суглинки легкі,  $k_{\phi} = 0,65$  м/добу; показники водного балансу за прогнозно-імітаційними розрахунками складають такі значення для сільськогосподарської культури проектної сівозміни за розрахунковими роками:

Культура проектної сівозміни	p, %	Попереджувальне шлюзування		Зрошення дощуванням		Підґрунтове зволоження		Осушення	
		VVI	MP	VVI	MP	VVI	MP	VVI	MP
Картопля	50	848	0	739	0	982	0	697	0
	75	1445	188	1066	0	1866	0	1149	485
	90	2137	414	1036	0	2595	0	1434	1117

Позначення:

VVI – величина живлення розрахункового шару ґрунту з рівня ґрунтових вод,  $\text{м}^3/\text{га}$ .

MP – показник водного балансу за розрахунковий період вегетації,  $\text{м}^3/\text{га}$ .

p – розрахункова забезпеченість, %.

**Вправа 13.** За результатами прогнозно-оптимізаційних розрахунків за програмою «REGIM TEO» визначити найбільш економічно оптимальний режимно-технологічний варіант проектного рішення, щодо типу та конструкції меліоративної системи, якщо: об'єкт розташований у Полтавській області. Ділянка площею 487,5 га; ґрунти – суглинки легкі; з  $k_\phi = 0,6$  м/добу, сільськогосподарські культури проектної сівозміни – багаторічні трави, багаторічні трави, льон, кормовий буряк, кукурудза на силос, картопля, помідори.

№ з/п	Варіанти проектних рішень	Приведені витрати, у.о./га	Чистий прибуток у.о./га
1.	Осушувальна система з попереджувальним шлюзуванням	1810,7	224,3
2.	Осушувальна система з попереджувальним шлюзуванням + зрошення дощуванням багаторічних трав	1924,4	245,5
3.	Осушувально-зволожувальна система	1840,5	248,4
4.	Осушувальна система	1789,1	191,8
5.	Осушувальна система + зрошення дощуванням багаторічних трав	341,4	43,6

**Вправа 14.** За результатами прогнозно-імітаційних розрахунків за програмою «BALANS» визначити раціональну кількість варіантів технологій водорегулювань осушуваних земель, якщо: об'єкт розташований у Київській області; площа поля 35,5 га, ґрунти – супіски,  $k_\phi = 1,0$  м/добу; показник водного балансу за прогнозно-імітаційними розрахунками складає такі значення для сільськогосподарської культури проектної сівозміни за розрахунковими роками:

Культура проектної сівозміни	p, %	Попереджувальне шлюзування		Зрошення дощуванням		Підґрунтове зволоження		Осушення	
		VVI	MP	VVI	MP	VVI	MP	VVI	MP
Кукурудза на силос	50	62	0	62	0	114	0	-8	0
	75	608	62	563	0	862	0	411	260
	90	1010	571	595	0	1528	52	587	993

Позначення:

VVI – величина живлення розрахункового шару ґрунту з рівня ґрунтових вод,  $m^3/га$ .

MP – показник водного балансу за розрахунковий період вегетації,  $m^3/га$ .

p – розрахункова забезпеченість, %.

**Вправа 15.** За результатами прогнозно-оптимізаційних розрахунків за програмою «REGIM TEO» визначити найбільш економічно оптимальний спосіб водорегулювання осушуваних земель для культури проектної сівозміни, якщо: об'єкт розташований у Полтавській області; площа поля 60 га; ґрунти за гранулометричним складом – суглинки легкі,  $k_{\phi}=0,6$  м/добу.

Культура	Спосіб регулювання	Приведені витрати, грн/га	Чистий прибуток, грн/га
Буряк кормовий	Попереджувальне шлюзування	1216,0	248,0
	Зрошення дощуванням + попереджувальне шлюзування	1336,8	262,2
	Підґрунтове зволоження	1250,5	267,5
	Осушення	1179,4	230,6
	Зрошення дощуванням +осушення	1287,1	265,4

**Вправа 16.** За результатами прогнозно-імітаційних розрахунків за програмою «BALANS» визначити раціональну кількість варіантів технологій водорегулювань осушуваних земель, якщо: об'єкт розташований у Львівській області; площа поля 48,5 га, ґрунти – глини,  $k_{\phi} = 1,0$  м/добу; показник водного балансу за прогнозно-імітаційними розрахунками складає такі значення для сільськогосподарської культури проектної сівозміни за розрахунковими роками:

Культура проектної сівозміни	р, %	Попереджувальне шлюзування		Зрошення дощуванням		Підґрунтове зволоження		Осушення	
		VVI	MP	VVI	MP	VVI	MP	VVI	MP
овочеві	50	122	-179	122	0	105	-161	2	-58
	75	1175	60	1004	0	1412	-92	948	238
	90	2237	94	985	0	2633	0	1605	726

Позначення:

VVI – величина живлення розрахункового шару ґрунту з рівня ґрунтових вод,  $\text{м}^3/\text{га}$ .

MP – показник водного балансу за розрахунковий період вегетації,  $\text{м}^3/\text{га}$ .

р – розрахункова забезпеченість, %.

**Вправа 17.** За результатами прогнозно-оптимізаційних розрахунків за програмою «REGIM TEO» визначити найбільш економічно оптимальний режимно-технологічний варіант проектного рішення, щодо типу та конструкції меліоративної системи, якщо: об'єкт розташований у Закарпатській області. Ділянка площею 259,5 га; ґрунти – глини легкі; з  $k_{\phi}=0,1$  м/добу, сільськогосподарські культури проектної сівозміни – багаторічні трави (сіно), багаторічні трави, багаторічні трави (сіно), картопля, ячмінь, столовий буряк, овес.

№ з/п	Варіанти проектних рішень	Приведені витрати, у.о./га	Чистий прибуток, у.о./га
1.	Осушувальна система з попереджувальним шлюзуванням	980,5	77,5
2.	Осушувальна система з попереджувальним шлюзуванням + зрошення дощуванням багаторічних трав	846,9	98,6
3.	Осушувально-зволожувальна система	1067,6	63,9
4.	Осушувальна система	828,8	86,7
5.	Осушувальна система + зрошення дощуванням багаторічних трав	1048,2	54,8

**Вправа 18.** За результатами прогнозно-оптимізаційних розрахунків за програмою «DRENAG» визначити найбільш економічно оптимальний варіант щодо типу конструкції та параметрів сільськогосподарського дренажу на осушуваних землях, якщо: об'єкт розташований у Закарпатській області. Ділянка площею 247,5 га; ґрунти – глини; з  $k_{\phi}=0,1$  м/добу, водотривкий шар ґрунту розміщений на глибині 2,0 м, сільськогосподарські культури проектної сівозміни – багаторічні трави, багаторічні трави, картопля, кормовий буряк, ячмінь, столовий буряк, овес.

Варіанти конструкцій дренажу	Діаметр, мм	Оптимум для даного варіанту		Мінімум затрат і витрат врожаю як критерій оптимізації, у.о./га
		модуль дренажного стоку, $q$ $л/с \cdot га$	відстані між дренами $B$ , м	
1	100,0	0,45	6,51	323,05
2	50,0	0,43	10,33	391,94
2	75,0	0,40	11,62	430,89
2	100,0	0,49	8,21	313,25
3	50,0	0,43	9,20	383,12
3	75,0	0,40	10,54	422,06
3	100,0	0,37	11,96	454,94
4	50,0	0,43	10,05	383,20
4	75,0	0,43	10,56	421,43
4	100,0	0,37	12,75	453,40
5	75,0	0,13	28,46	722,05
5	100,0	0,13	28,47	736,37
6	50,0	0,43	28,48	750,64
6	63,0	0,43	9,89	385,62
7	50,0	0,13	10,19	384,09
7	63,0	0,13	28,51	714,61

**Варіанти конструкцій дренажу за відповідними шифрами:**

1. Труби гончарні без фільтру чи з внутрішніми з'єднувальними муфтами.
2. Труби гончарні з суцільною обгорткою фільтром із рулонних матеріалів.
3. Труби гончарні з фільтром у вигляді полоски на стиках.
4. Труби гончарні з фільтром із рулонних матеріалів у вигляді суцільної полоси знизу і полосок на стиках.
5. Труби гончарні із гравійно-піщаною засипкою.
6. Труби пластмасові із суцільною обгорткою.
7. Труби пластмасові із піщано-гравійною засипкою.

**Вправа 19.** За результатами прогнозно-оптимізаційних розрахунків за програмою «REGIM TEO» визначити найбільш економічно оптимальний режимно-технологічний варіант проектного рішення, щодо типу та конструкції меліоративної системи, якщо: об'єкт розташований у Черкаській області. Ділянка площею 458,5 га; ґрунт – суглинки легкі, з  $k_{\phi} = 0,5$  м/добу, сільськогосподарські культури проектної сівозміни - багаторічні трави (сіно), озимі зернові, льон, картопля, однорідні трави (зел. корм).

№ з/п	Варіанти проектних рішень	Приведені витрати, у.о./га	Чистий прибуток, у.о./га
1.	Осушувальна система з попереджувальним шлюзуванням	857,6	193,7
2.	Осушувальна система з попереджувальним шлюзуванням + зрошення дощуванням багаторічних трав	915,2	196,2
3.	Осушувально-зволожувальна система	858,8	210,6
4.	Осушувальна система	862,5	173,8
5.	Осушувальна система + зрошення дощуванням багаторічних трав	1003,3	183,0

**Вправа 20.** За результатами прогнозно-оптимізаційних розрахунків за програмою «REGIM TEO» визначити найбільш економічно оптимальний спосіб водорегулювання осушуваних земель для культури проектної сівозміни, якщо: об'єкт розташований у Чернігівській області; площа поля 56 га; ґрунти за гранулометричним складом – супіщані,  $k_{\phi} = 0,75$  м/добу.

Культура	Спосіб регулювання	Приведені витрати, грн/га	Чистий прибуток, грн/га
Льон	Попереджувальне шлюзування	1740,4	594,0
	Зрошення дощуванням + попереджувальне шлюзування	1766,1	628,3
	Підґрунтове зволоження	1702,0	650,4
	Осушення	1781,3	538,1
	Зрошення дощуванням +осушення	1847,7	621,7

**Вправа 21.** За результатами прогнозно-оптимізаційних розрахунків за програмою «REGIM TEO» визначити найбільш економічно оптимальний спосіб водорегулювання осушуваних земель для культури проектної сівозміни, якщо: об'єкт розташований у Закарпатській області; площа поля 48 га; ґрунти за гранулометричним складом – глинисті,  $k_{\phi} = 0,1$  м/добу.



Культура	Спосіб регулювання	Приведені витрати, грн/га	Чистий прибуток, грн/га
Картопля	Попереджувальне шлюзування	2448,1	379,4
	Зрошення дощуванням + попереджувальне шлюзування	2268,0	447,0
	Підгрунтове зволоження	2501,0	400,0
	Осушення	2342,3	342,7
	Зрошення дощуванням +осушення	2471,0	401,5

**Вправа 22.** Визначити теоретично можливу кількість варіантів проектних рішень щодо типу та конструкції меліоративної системи за відповідними варіантами схем водорегулювання осушуваних земель у заданих умовах, якщо: об'єкт розташований в Сумській області; ділянка площею 298,5 га; ґрунти – супіски;  $k_{\phi} = 0,7$  м/добу; рельєф місцевості характеризується ухилами поверхні від 0,0002 до 0,0004; є джерело поливної води в необмеженій кількості; сільськогосподарські культури проектної сівозміни сукупності  $\{k\}, k = \overline{1, n_k}$  – багаторічні трави ,багаторічні трави, кормовий буряк, кукурудза на силос, картопля, овочі.

**Вправа 23.** За результатами прогнозно-оптимізаційних розрахунків за програмою «REGIM TEO» визначити найбільш економічно оптимальний спосіб водорегулювання осушуваних земель для культури проектної сівозміни, якщо: об'єкт розташований у Рівненській області; площа поля 52 га; ґрунти за гранулометричним складом – супіщані,  $k_{\phi} = 1,0$  м/добу.

Культура	Спосіб регулювання	Приведені витрати, грн/га	Чистий прибуток, грн/га
Кукурудза на силос	Попереджувальне шлюзування	259,0	49,8
	Зрошення дощуванням + попереджувальне шлюзування	342,6	32,4
	Підгрунтове зволоження	279,7	45,8
	Осушення	243,0	51,9
	Зрошення дощуванням +осушення	427,2	17,7

**Вправа 24.** За результатами прогнозно-оптимізаційних розрахунків за програмою «DRENAG» визначити найбільш економічно оптимальний варіант щодо типу конструкції та параметрів сільськогосподарського дренажу на осушуваних землях, якщо: об'єкт розташований у Рівненській області.

Ділянка площею 487,5 га; ґрунти – суглинки легкі; з  $k_{\phi}=0,6$  м/добу, водотривкий шар ґрунту розміщений на глибині 5,7 м, сільськогосподарські культури проектної сівозміни – багаторічні трави, багаторічні трави, льон, кормовий буряк, кукурудза на силос, картопля, овочі.

Варіанти конструкцій дренажу	Діаметр, мм	Оптимум для даного варіанту		Мінімум затрат і витрат врожаю як критерій оптимізації, у.о./га
		модуль дренажного стоку, $q$ $л / с \cdot га$	відстані між дренами $B$ , м	
1	100,0	0,47	30,19	295,66
2	50,0	0,54	28,89	245,31
2	75,0	0,54	30,51	258,97
2	100,0	0,48	34,76	271,04
3	50,0	0,54	25,54	242,38
3	75,0	0,54	27,27	256,24
3	100,0	0,48	31,47	268,27
4	50,0	0,54	28,06	242,25
4	75,0	0,54	29,72	255,60
4	100,0	0,48	33,97	267,07
5	75,0	0,45	56,47	394,67
5	100,0	0,45	56,64	401,43
6	50,0	0,54	27,99	242,68
6	63,0	0,54	28,95	242,03
7	50,0	0,45	57,24	381,93
7	63,0	0,45	57,31	383,70

**Варіанти конструкцій дренажу за відповідними шифрами:**

1. Труби гончарні без фільтру чи з внутрішніми з'єднувальними муфтами.
2. Труби гончарні з суцільною обгорткою фільтром із рулонних матеріалів.
3. Труби гончарні з фільтром у вигляді полоски на стиках.
4. Труби гончарні з фільтром із рулонних матеріалів у вигляді суцільної полоси знизу і полосок на стиках.
5. Труби гончарні із гравійно-піщаною засипкою.
6. Труби пластмасові із суцільною обгорткою.
7. Труби пластмасові із піщано-гравійною засипкою.

## ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК

**Агрокліматичні показники** – узагальнена кількісна характеристика кліматичних умов стосовно потреб вирощування сільськогосподарських культур або землеробства в цілому.

**Атмосферні опади** – вода в твердому або рідкому стані, що випадає з хмар або осідає на земну поверхню та земні предмети. Вимірюється в мм.

**Бонітет ґрунтів** – показник продуктивності ґрунтів, що, як правило, виражається в балах.

**Бонітування ґрунтів** – порівняльна оцінка (в балах) ґрунтів за їхніми агрономічними властивостями. Необхідна для економічної характеристики земель, ведення Земельного кадастру, меліорації, удосконалення систем землеробства тощо.

**Варіанти меліоративного проекту** – альтернативні варіанти технічних та технологічних рішень, складених за різними технологіями водорегулювання меліорованих земель й відповідними конструктивними рішеннями для їх забезпечення щодо меліоративної системи та її технічних елементів.

**Вегетаційний період** – час, необхідний для проходження повного циклу розвитку рослин. Відраховується від посіву до визрівання рослин; визначається загальною кількістю тепла, вираженою сумами активних та ефективних температур. В умовах помірного клімату початок і закінчення вегетаційного періоду збігається з переходом температури повітря через + 5° С навесні і восени.

**Випаровуваність** – величина, що характеризується максимально можливим (не обмеженим запасами вологи) випаровуванням з поверхні водойми або з поверхні зволоженого ґрунту при певних метеорологічних умовах. Величина випаровуваності залежить від кліматичних умов, насамперед – від забезпеченості території вологою і теплом.

**Водний баланс** – співвідношення за деякий проміжок часу (рік, місяць, декаду тощо) надходження та витрати води з урахуванням зміни її запасів на певній ділянці території.

**Водний режим** – зміна в часі рівнів, витрат, об'ємів води у водних об'єктах та вологозапасів у ґрунтах (підґрунті).

**Водорегулювання** – процес формування вологозапасів активного кореневмісного шару ґрунту на меліорованому полі шляхом подачі або відведення води в межах меліоративної системи як складної природно-технічної системи.

**Вологість ґрунту** – вміст води в ґрунті. Розрізняють: вагову вологість, яку виражають у відсотках від маси абсолютно сухого ґрунту або у відсотках від маси природного стану ґрунту; об'ємну вологість – кількість води в ґрунті, яка виражена відношенням об'єму води до об'єму ґрунту.

**Вологообмін** – явище руху вологи стосовно розрахункового шару ґрунту з нижче розташованих шарів і рівня ґрунтових вод у вигляді живлення або інфільтрації, залежно від співвідношення між опадами, випаровуванням та наявних вологозапасів ґрунту.

**Дисперсійний аналіз** – розчленування загальної суми квадратів відхилень і загального числа ступенів вільності на частини – компоненти, які відповідають структурі експерименту і оцінка значущості дії і взаємодії досліджуваних факторів за критерієм Фішера (F – критерію).

**Довготерміновий прогноз** – ймовірне судження про майбутній стан явища на основі спеціальних наукових досліджень.

**Економіко-математична модель** – опис економічних процесів, об'єктів, зв'язків з використанням математичного апарату.

**Економічна ефективність** – категорія, що відображає відповідність затрат і результатів за проектом цілям й інтересам його учасників у вартісній формі та виражається ступенем досягнення мети функціонування об'єкту з урахуванням витрат ресурсів і часу.

**Ескізне проектування** – це попередні плани вирішення поставленого завдання в конкретних умовах, що, як правило, охоплюють розробку основних питань з невеликою кількістю показників. Етап ескізного проектування розробляється для концептуального визначення вимог до територіальних, функціональних, екологічних вирішень об'єкта, принципового підтвердження можливості і доцільності його створення.

**Етап** – окремий момент, стадія якогось процесу.

**Ефект** – досягнутий результат у його матеріальному, грошовому, соціальному вираженні.

**Ефективна врожайність** – визначена за довготерміновим прогнозом дійсно можлива (технологічно забезпечена) величина врожайності сільськогосподарських культур, яка враховує вплив визначальних природно-агро-меліоративних факторів на її формування.

**Запаси води (вологозапаси)** – абсолютний вміст води у розрахунковому шарі ґрунту, який виражається висотою шару води в міліметрах (мм) або в одиницях об'єму на одиницю площі меліорованого поля ( $m^3/га$ ).

**Кошторисна документація** – набір статистичних й інших матеріалів, нормативів, даних, необхідних для складання кошторису.

**Крива забезпеченості** – сумарний ( інтегральний ) вираз кривої розподілу випадкових величин, за допомогою якого можна визначити значення величин будь-якої забезпеченості.

**Критерій ефективності** – якісний та кількісний показник, який характеризує рівень ефективності системи і розглядається як головна ознака оцінки ефективності, що розкриває її сутність.

**Меліоративний проект** – певним чином організована система ресурсів, інвестицій, технічної та організаційно-фінансової документації, технологічних процесів, об'єктів інженерної інфраструктури і певних дій з метою оптимального (раціонального) й продуктивного розвитку та організації аграрного виробництва на меліорованих землях за рахунок мінімізації впливу несприятливих умов навколишнього природного середовища на створюваний еколого-економічний ефект за певний проміжок часу.

**Метеорологічний режим** – сукупність характерних змін стану атмосфери(погоди) в часі.

**Метеорологічні комплекси** – багатомірні агрокліматичні показники світло-, тепло-, вологозабезпеченості певної території або сільськогосподарської культури.

**Метеорологічні характеристики ( фактори, елементи)** – фізичні й статистичні параметри атмосфери, що характеризують її стан та взаємодію з підстиляючою землею поверхнею, а також властивості атмосфери, які використовуються у господарській діяльності і впливають на екологічні умови навколишнього середовища.

**Методика** – конкретизація методу, доведення його до чіткого опису способу здійснення розробок, розрахунків, прогнозів, узагальнення досвіду, способів, підходів, технологічних прийомів здійснення завдань, реалізації планів.

**Модель** – об'єкт чи явище, аналогічні або такі, що достатньою мірою повторюють властивості об'єкту або явища (прототипу), які моделюються, враховують суттєві для цілей конкретного моделювання і не враховують несуттєві їхні властивості, в яких вони можуть відрізнятися від прототипу.

**Моделювання** – відтворення дійсності на основі моделі, що дає змогу передбачити хід досліджуваного явища чи процесу, розрахувати цільову функцію (вихідні параметри процесу), керувати процесом, проектувати системи з бажаними характеристиками.

**Норма вегетаційних значень метеофакторів і метеокомплексів** – середнє їх значення за багаторічний період такої тривалості, при збільшенні якого отримане середнє значення суттєво не змінюється. Тривалість періоду (ряду) вважається достатньою, якщо відносна середня квадратична похибка середнього значення не перевищує 10%.

**Опади (атмосферні)** – вода в рідкому чи твердому стані, що випадає з атмосфери на земну поверхню.

**Оптимізаційний підхід** – передбачає чітку (кількісно виражену у скалярному вигляді) формалізацію задачі управління, розробку моделей процесів, що протікають в об'єкті, і моделей впливу на об'єкт.

**Погодно-кліматичний ризик** – абсолютне чи відносне відхилення фактичного ефекту за варіантом проекту від потенційно можливого його значення на даному об'єкті в результаті невідповідності реальних метеорологічних умов щодо оптимальних.

**Потенційна врожайність** – отримана за розрахунком найбільша величина можливої врожайності вирощуваних сільськогосподарських культур, що забезпечена наявними кліматичними й агротехнічними ресурсами її отримання.

**Природно-агро-меліоративні умови** – сукупність визначальних факторів впливу на формування врожайності сільськогосподарських культур: кліматичні, агротехнічні, технологічні тощо.

**Прогноз** – ймовірне судження про майбутній стан явища на основі спеціальних наукових досліджень.

**Проектна врожайність** – визначена за розрахунком середньозважена в часі та просторі величина ефективної врожайності вирощуваних сільськогосподарських культур за змінними природно-агро-меліоративними умовами в заданих границях системи та проектного терміну функціонування реального об'єкта.

**Рівень ґрунтових вод** – висотне положення вільної поверхні ґрунтових вод у певній точці меліорованого поля.

**Рівень значущості** – ймовірність події, якою можна знехтувати.

**Родючість** – здатність ґрунту як компоненту біосфери забезпечувати необхідні для життєдіяльності рослин умови, що визначають поживний, водно-повітряний, температурний, окисно-відновний та інші режими.

**Системний підхід** – напрямок в науці, головна мета якого полягає в розробці методів дослідження і конструювання складно організованих об'єктів – системи різних типів і класів.

**Сумарне водоспоживання, евапотранспірація** – сумарний об'єм ( $\text{м}^3/\text{га}$ ) або шар (мм) води, що витрачається на транспірацію рослин та випаровування з поверхні ґрунту за певний інтервал часу з одиниці площі меліорованого поля.

**Температура повітря** – змінна фізична величина, що характеризує тепловий стан атмосфери. Вона визначає умови формування і характер погоди, впливає на життєдіяльність людини. Вимірюється в градусах Цельсія ( $^{\circ}\text{C}$ ).

**Техніко-економічне обґрунтування (ТЕО)** – розрахунки на основі аналізу та оцінки економічної доцільності, що виконуються для здійснення запропонованого проекту будівництва, модернізації і реконструкції діючих об'єктів тощо.

**Техніко-економічні показники (ТЕП)** – величини, які характеризують матеріально-виробничу базу підприємства, організацію виробництва, затрати на виробництво продукції тощо.

**Управління формуванням урожаю** – процес, що враховує збирання та опрацювання даних щодо стану рослин і факторів впливу зовнішнього середовища, а також прийняття й реалізацію рішень з упровадження технологій виробництва сільськогосподарської продукції.

**Урожай** – продукція, що отримана в результаті вирощування сільськогосподарських культур. Це функція виробничих затрат, родючості, виду й сорту рослин, часу, погоди тощо.

**Урожайність** – середній врожай з одиниці площі посіву, який в практиці виражають у ц/га.

**Фактори життя рослин** – природні фактори та явища, які є джерелом енергії або приймають участь у формуванні розвитку рослин, їхньої врожайності та якості продукції. Ці фактори можуть бути космічними (світло, тепло) або земними (вода, поживні речовини, повітря тощо).

**Фотосинтез** – процес перетворення рослинами та мікроорганізмами, що відповідають за фотосинтез, променевої енергії сонця в енергію хімічних зв'язків органічних речовин.

**Фотосинтетична активна радіація (ФАР)** – частина спектра сонячної радіації з довжиною хвиль у діапазоні 0,38...0,71 мкм, яку найактивніше поглинають рослини у процесі фотосинтезу.

**Фотосинтетично-активна радіація** – фізіологічно активна частина сумарної сонячної радіації, що засвоюється рослиною в процесі фотосинтезу.



## ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

- ВІМ-технології, 51, 101  
Авторський нагляд, 31  
Водорегулювання осушуваних земель, 120  
Гідромеліоративна система, 121  
Декомпозиція, 34  
інтегральний показник забезпеченості, 79  
ККД ФАР, 112  
Коефіцієнт поверхневого стоку, 98  
Меліоративна система, 121  
Моделювання, 55  
Модель, 55  
Модель водного режиму, 85  
Модель оптимізації, 120  
Модель прогнозованої оцінки, 71  
модуль дренажного стоку, 126  
Операційна система, 47  
оптимізаційний підхід, 162  
Підсистема САПР, 41  
Погодно-кліматичний ризик, 149  
показник надійності, 152  
потенційна врожайність, 109  
Природно-меліоративний режим, 145  
Природно-технічна система, 120  
Програма, 47  
Програмне забезпечення, 46  
Програмування, 47  
Проект, 28  
Проектна документація, 26  
Проектна операція, 40  
Проектна процедура, 40  
Проектне рішення, 40  
проектні рішення, 32  
Проектування, 32  
проектування, 25  
регулююча мережа, 182  
робоча документація, 28  
Робочий проект, 27  
САПР, 35  
Система, 34  
Система автоматизованого проектування, 35, 174  
системний підхід, 33  
Техніко-економічне обґрунтування, 26  
Техніко-економічний розрахунок, 26  
техніко-економічні показники, 158  
Технічна система, 34  
технічно-меліоративна підсистема, 67

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дупляк В. Д., Дупляк О. В., Ковальов С. В., Рокочинський А. М. Організація та проведення торгів у водогосподарському будівництві : навч. посіб. Київ-Рівне : УДУВГП, 2002. 392 с.
2. Інженерний захист територій : навч. посібник / А. М. Рокочинський, В. А. Живиця, Л. А. Волкова, М. І. Ромащенко та ін. ; за ред. А. М. Рокочинського, Л. А. Волкової, В. А. Живиці, В. П. Чіпака. Херсон : ОЛДІ ПЛЮС, 2017. 414 с.
3. Коптюк Р. М., Рокочинський А. М. Обґрунтування необхідності та сучасні підходи до оптимізації конструкцій осушувальних систем з урахуванням рельєфу місцевості. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування* : зб. наук. праць. Рівне, 2008. Вип. 1 (41). С. 476–483.
4. Кузьменко Б. В., Чайковська О. А. Моделювання систем : навч. посіб. К. : 2008. 136 с.
5. Лазарчук М. О., Рокочинський А. М., Черенков А. В. Проектування осушувальних систем з основами САПР : практикум. К. : ІСДО, 1994. 408 с.
6. Лазарчук Н. А., Рокочинський А. Н., Черенков А. В. Проектирование осушительных систем : практикум. К. : Вища шк. Головное изд-во, 1989. 208 с.
7. Меліорація та облаштування Українського Полісся : колективна монографія / за ред. д.с-г.н., професора, акад. НААН Я. М. Гадзала, д.т.н., професора, член-кор. НААН В. А. Сташука, д.т.н., професора А. М. Рокочинського. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. Т. 1. 932 с.
8. Меліорація та облаштування Українського Полісся : колективна монографія / за ред. д.с-г.н., професора, акад. НААН Я. М. Гадзала, д.т.н., професора, член-кор. НААН В. А. Сташука, д.т.н., професора А. М. Рокочинського. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2018. Т. 2. 854 с.
9. Методичні рекомендації щодо екологічно оптимальних режимів меліорованих ґрунтів гумідної зони України / С. Т. Вознюк, А. М. Рокочинський, В. С. Мошинський, В. А. Сташук та ін. Рівне, 2005. 50 с.
10. Науково-методичні рекомендації до обґрунтування оптимальних параметрів сільськогосподарського дренажу на осушуваних землях за економічними та екологічними вимогами / А. М. Рокочинський, А. В. Черенков, В. Г. Муранов, О. Ю. Тимейчук та ін. Рівне, 2013. 34 с.
11. Науково-методичні та організаційні засади управління водогосподарсько-меліоративними об'єктами гумідної зони України за короткотерміновим метеорологічним прогнозом : методичні рекомендації / А. М. Рокочинський,

- В. А. Сташук, Я. Я. Зубик, Л. В. Зубик та ін. Рівне, 2005. 53 с.
12. Наумчук О. М. Основи систем автоматизованого проектування: інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення. Рівне : НУВГП, 2008. 136 с.
13. Айдаров И. П., Голованов А. И., Никольский Ю. Н. Оптимизация мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель : рекомендации. М. : Агрометеиздат, 1990. 60 с.
14. Меліоративні системи та споруди : посібник до ДБН В.2.4-1-99. (Розділ 3. Осушувальні системи). *Обґрунтування ефективної проектної врожайності на осушуваних землях при будівництві й реконструкції меліоративних систем* / А. М. Рокочинський, С. В. Шалай, В. А. Сташук та ін. Рівне, 2006. 50 с.
15. Меліоративні системи та споруди : посібник до ДБН В.2.4-1-99. (Розділ 3. Осушувальні системи). *Метеорологічне забезпечення інженерно-меліоративних розрахунків у проектах будівництва й реконструкції осушувальних систем* / А. М. Рокочинський, О. І. Галік, В. А. Сташук, Н. А. Фроленкова та ін. Рівне, 2008. 64 с.
16. Рокочинський А. М., Антонов О. Д., Шалай С. В. Інженерні вишукування для водогосподарського та природоохоронного будівництва : навч. посіб. / за ред. проф. А. М. Рокочинського. Рівне : НУВГП, 2010. 173 с.
17. Рокочинський А. М., Наумчук О. М., Величко С. В., Коптюк Р. М. Основи систем автоматизованого проектування : навч. посіб. / за ред. проф. А. М. Рокочинського. Рівне : НУВГП, 2010. 178 с.
18. Рокочинський А. М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах : монографія / за редакцією академіка УААН Ромащенко М. І. Рівне : НУВГП, 2010. 351 с.
19. Рокочинський А. М., Кожушко Л. Ф., Кропивко С. М. Управління проектами у водному господарстві та природокористуванні : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2012. 293 с.
20. Основи гідромеліорацій : навч. посіб. / Рокочинський А. М., Сапсай Г. І., Муранов В. Г., Мендусь П. І. та ін. ; за ред. проф. А. М. Рокочинського. Рівне : НУВГП, 2014. 255 с.
21. Рокочинський А. М., Фроленкова Н. А., Паллу Л. М., Коптюк Р. М. Удосконалення технології проектування меліоративних проектів при оптимізації водорегулювання осушуваних земель. *Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво* : зб. наук. праць. Рівне, 2008. Вип. 33. С. 20–28.
22. Тимчасові рекомендації з економічного обґрунтування меліоративних проектів у зоні осушувальних меліорацій / Н. А. Рокочинська,

Л. Ф. Кожушко, А. М. Рокочинський, В. Д. Дупляк. Рівне : НУВГП, 2004. 68 с.

23. Тимчасові рекомендації з обґрунтування ефективної проектної врожайності на осушуваних землях при будівництві й реконструкції меліоративних систем / С. В. Шалай, А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. М. Бежук. Рівне : НУВГП, 2004. 43 с.

24. Тимчасові рекомендації з оптимізації водорегулювання осушуваних земель у проектах будівництва й реконструкції водогосподарсько-меліоративних об'єктів / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк, Н. А. Фроленкова та ін. Рівне, 2010. 52 с.

25. Тимчасові рекомендації з оцінки інвестиційних проектів будівництва і реконструкції водогосподарських об'єктів та меліоративних систем / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк, Н. А. Фроленкова та ін. Рівне, 2013. 43 с.

26. Тимчасові рекомендації з прогносної оцінки водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель у проектах будівництва й реконструкції меліоративних систем / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк, Р. М. Коптюк, Н. А. Фроленкова та ін. Рівне, 2011. 54 с.

27. Турченко В. О., Рокочинський А. М. Системна оптимізація водо- та енергокористування на екологоекономічних засадах на рисових зрошувальних системах : монографія / за наук. ред. А. М. Рокочинського. Рівне : НУВГП, 2020. 333 с.

28. Фроленкова Н. А., Кожушко Л. Ф., Рокочинський А. М. Еколого-економічне оцінювання в управлінні меліоративними проектами : монографія. Рівне : НУВГП, 2007. 257 с.

29. Шалай С. В., Рокочинський А. М. Оцінка продуктивності осушуваних земель за довготерміновим прогнозом : монографія. Рівне : НУВГП, 2011. 149 с.

30. Rokochinskiy, A., Jeznach, J., Volk, P., Turcheniuk, V., Frolenkova, N. & Koptiuk, R. (2019). Reclamation projects development improvement technology considering optimization of drained lands water regulation based on BIM. *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences*, 28 Issue 3(85). P. 432–443. doi: 10.22630/PNIKS.2019.28.3.40

## **ДОДАТКИ**

Таблиця А.1

## Вхідні дані

Загальна характеристика об'єкту.

шифр:	кількість:	кількість:	середні :	середня сума :
зони:	культур :	грунтів :	опадів за:	серед.добових:
:	в сівос-	на ділян-	вегета-	деф-в волог-і:
:	зміні :	ці :	цію, мм :	повітря, мм :
2	5	1	417	846

- Опис ґрунтів.

шифр:	запас :	площа роз-	:
грун:	продук-і:	повсюдження :	:
ту :	вологи, :	ґрунту на :	:
:	м3/га :	ділянці, га :	:
3	580	384.5	

- Проектне с-г використання земель.

шифр:	проект.:	частка :
куль:	врожай,	куль-ри :
тури:	ц/га :	в сівозм:
14	30	0.2
3	32	0.2
6	170	0.2
16	350	0.2
8	430	0.2

к.к.д. :	к.к.д. :	способи регулювання :	норма поливу:
зрошення:	підґрунт.:	при зрошенні:	
дощуван-	зволожен-	попер:	зрош:підгр:осуш:дощуванням, :
ням :	ня :	шлюз.:	дощ.:звол.:ення: м3/га :
1	2	3	4
0.8	0.6	1	1
		1	1
			350

Таблиця А.2

Основні види інформації, що використовуються при реалізації  
водобалансових розрахунків

Позначення	Зміст інформації
Вихідна документація	
ШЗ	Шифр кліматичної зони розміщення об'єкта
ШК <sub>i</sub>	Шифри сільськогосподарських культур
ШГ <sub>i</sub>	Шифри різновидів ґрунтів
F <sub>i</sub>	Площа, які займають різні види ґрунтів у межах об'єкта
N <sub>50%</sub>	Сума атмосферних опадів за IV-X місяці періоду вегетації 50%-ї забезпеченості, мм
$\sum D_{50\%}$	Сума середньодобових дефіцитів вологості повітря за той самий період, мм
$Y_i^n$	Проектний урожай вирощуваних культур, ц/га
$\alpha_i$	Частка культури в сівозміні
$WPh_j^0$	Запас продуктивної вологи у розрахунковому шарі ґрунту, коли рівноважний волого вміст є максимальним, м <sup>3</sup> /га
$\eta$	Коефіцієнт корисної дії (ККД) способу зволоження осушуваних земель
$h$	Розрахунковий шар ґрунту 0...0,5 м
$t$	Початковий час розрахунків
$\tau$	Розрахунковий інтервал часу: місяць, період вегетації
ОС	Осушення
ЗВШ	Зволожувальне шлюзування
ППШ	Попереджувальне шлюзування
ЗР	Зрошення дощуванням
S	За способом регулювання
Проміжні показники	
$WPh$	Запас продуктивної вологи у розрахунковому шарі ґрунту, м <sup>3</sup> /га
X	Ефективні атмосферні опади, що йдуть на поповнення вологозапасів розрахункового шару ґрунту, м <sup>3</sup> /га
$VVh$	Потенційно можлива величина підживлення розрахункового шару ґрунту з нижчих шарів і РГВ, м <sup>3</sup> /га
$VPh$	Уживана величина підживлення розрахункового шару ґрунту з нижчих шарів і РГВ, м <sup>3</sup> /га
Основні розрахункові показники	
$m$	Поливна норма за розрахунковий період, м <sup>3</sup> /га
$n$	Кількість поливів за розрахунковий період
$M^c$	Зрошувальні норми за способом зволоження, м <sup>3</sup> /га
$M_p$	Показник водного балансу за розрахунковий період вегетації, м <sup>3</sup> /га
$q$	Модулі подавання води на зволоження, л/(с*га)

Таблиця А.3

Середні значення опадів і сум середньодобового дефіциту  
вологості повітря за вегетацію (IV-X міс.)  
для зони достатнього і нестійкого зволоження України, мм

Шифр зони	Область	Опади $N_{50}$	Дефіцит вологості повітря, $\sum N_{50}$	Кліматичний дефіцит, ( $E_0-N$ )	
				області	зони
1	2	3	4	5	6
1	Львівська	545	905	180	$\leq 240$
	Волинська	431	812	218	
	Івано-Франківська	484	882	222	
2	Чернівецька	492	926	249	240-280
	Тернопільська	464	893	250	
	Житомирська	428	858	258	
	Рівненська	417	846	260	
3	Закарпатська	510	998	288	280-320
	Хмельницька	438	920	298	
	Вінницька	424	928	318	
4	Чернігівська	382	916	350	320-380
	Київська	428	986	361	
	Сумська	397	951	364	
	Черкаська	382	940	370	
5	Полтавська	359	951	402	>380

Таблиця А.4

Продуктивний запас води  
в розрахунковому шарі 0,5 м для різних типів ґрунтів, м<sup>3</sup>/га

Шифр ґрунту	Ґрунт	Продуктивний запас води
1	Пісок	450...500
2	Супісок	500...550
3	Суглинок	550...600
4	Глина	300...350
5	Торф	650...700



Таблиця А.5

Найменування сільськогосподарських культур і їх шифр

Шифр культури	Найменування культури	Основна продукція	Період вегетації, міс.
1	Зернобобові	зерно	IV-VIII
2		зелена маса	IV-VII
3	Ярі зернові	зерно	IV-VIII
4	Озимі зернові	зерно	IV-VIII
5	Льон	волокно	V-VIII
6	Картопля	бульби	V-IX
7	Цукровий буряк	коріння	V-IX
8	Буряк кормовий	коріння	V-X
9	Буряк столовий	коріння	V-X
10	Морква	коріння	V-X
11	Помідори	томати	V-X
12	Капуста	качани	V-X
13	Однорічні трави	зелена маса	V-IX
14	Багаторічні трави	сіно	IV-IX
15	Кукурудза	зерно	V-IX
16		зелена маса	V-VIII
17	Культурні пасовища	зелена маса	IV-IX

Таблиця А.6

## Розрахунок водного балансу

Rivnenska

## РОЗРАХУНОК ВОДНОГО БАЛАНСУ.

Позначення: WPN- запас продукт.вологи,  
 OR- ефективні опади,  
 E- сумарне випаровування,  
 VVI- величина живлення,що використовується,  
 MP- показник водного балансу.

Норми подачі води на підґрунтовне зволоження і зрошення дохджуванням,м3/га

:		p=50 %	:	p=75 %	:	p=90 %	:
місяць:							
		підгр.звол.:	зрошен.дожд:	підгр.звол.:	зрошен.дожд:	підгр.звол.:	зрошен.дожд:
багаторіч.трави на сіно							
квітень	0	0	0	0	0	0	0
травень	0	0	238	0	362	350	350
червень	52	0	250	350	443	700	700
липень	57	0	250	350	503	350	350
серпень	0	0	238	350	402	700	700
верес.	173	0	167	0	181	0	0
	282	0	1143	1050	1891	2100	
ярові зернові							
квітень	0	0	0	0	2	0	0
травень	2	0	117	0	173	350	350
червень	38	0	165	350	372	700	700
липень	0	0	117	350	317	350	350
серпень	9	0	109	0	98	0	0
	49	0	508	700	962	1400	
картопля							
травень	0	0	1	0	111	0	0
червень	0	0	0	0	212	350	350
липень	15	0	186	0	283	350	350
серпень	47	0	193	350	340	700	700
верес.	18	0	104	0	107	0	0
	80	0	484	350	1053	1400	
кукурудза на силос							
травень	0	0	0	0	63	0	0
червень	0	0	109	0	158	350	350
липень	5	0	118	0	171	350	350
серпень	41	0	166	0	479	0	0
	46	0	393	0	871	700	
буряк кормовий							
травень	0	0	0	0	0	0	0
червень	0	0	0	0	177	0	0
липень	12	0	170	0	248	700	700
серпень	47	0	226	350	409	350	350
верес.	33	0	185	350	505	700	700
жовтен	8	0	40	0	63	0	0
	100	0	621	700	1402	1750	
ср.зрош.норма	185.67	0.00	1049.67	700.00	2059.67	1837.50	
розрах.модуль	0.03	0.00	0.12	0.30	0.22	0.51	

продовження табл. А.6

Водний баланс с/г полів за вегетацію.																				
			: попереджув. : зрошення : підґрунтове : осушення :																	
Р, :			: шлюзування : дождюванням : зволоження :																	
% : wpr: e : or :			vvi : mp : vvi : mp : vvi : mp : vvi : mp :																	
-----																				
14 багаторіч. трави на сіно																				
50	580	4136	2815	1190	0	1190	0	1242	0	1028	0									
75	580	4672	1970	1914	207	1471	0	2615	0	1538	584									
90	580	5029	1041	3027	381	1609	0	3469	0	2194	1214									
-----																				
3 ярові зернове																				
50	580	2508	2439	245	-177	245	0	161	-93	162	-94									
75	580	2850	1708	559	4	435	0	944	0	373	189									
90	580	3078	903	979	617	528	0	1490	105	582	1013									
-----																				
6 картопля																				
50	580	2889	2471	281	0	281	0	360	0	175	0									
75	580	3177	1730	840	28	831	0	1271	0	606	262									
90	580	3369	914	1368	507	809	0	1862	13	848	1027									
-----																				
16 кукурудза на силос																				
50	580	2385	2095	24	0	24	0	70	0	-38	0									
75	580	2642	1467	524	71	481	0	873	0	346	250									
90	580	2813	775	861	597	506	0	1377	81	493	965									
-----																				
8 буряк кормовий																				
50	580	3366	2783	446	0	446	0	547	0	311	0									
75	580	3712	1948	1112	72	981	0	1520	0	827	356									
90	580	3943	1030	1750	583	946	0	2318	15	1112	1221									
-----																				



Рис. Б.1. Карта ізоліній коефіцієнтів  $A_G$ ,  $B_G$

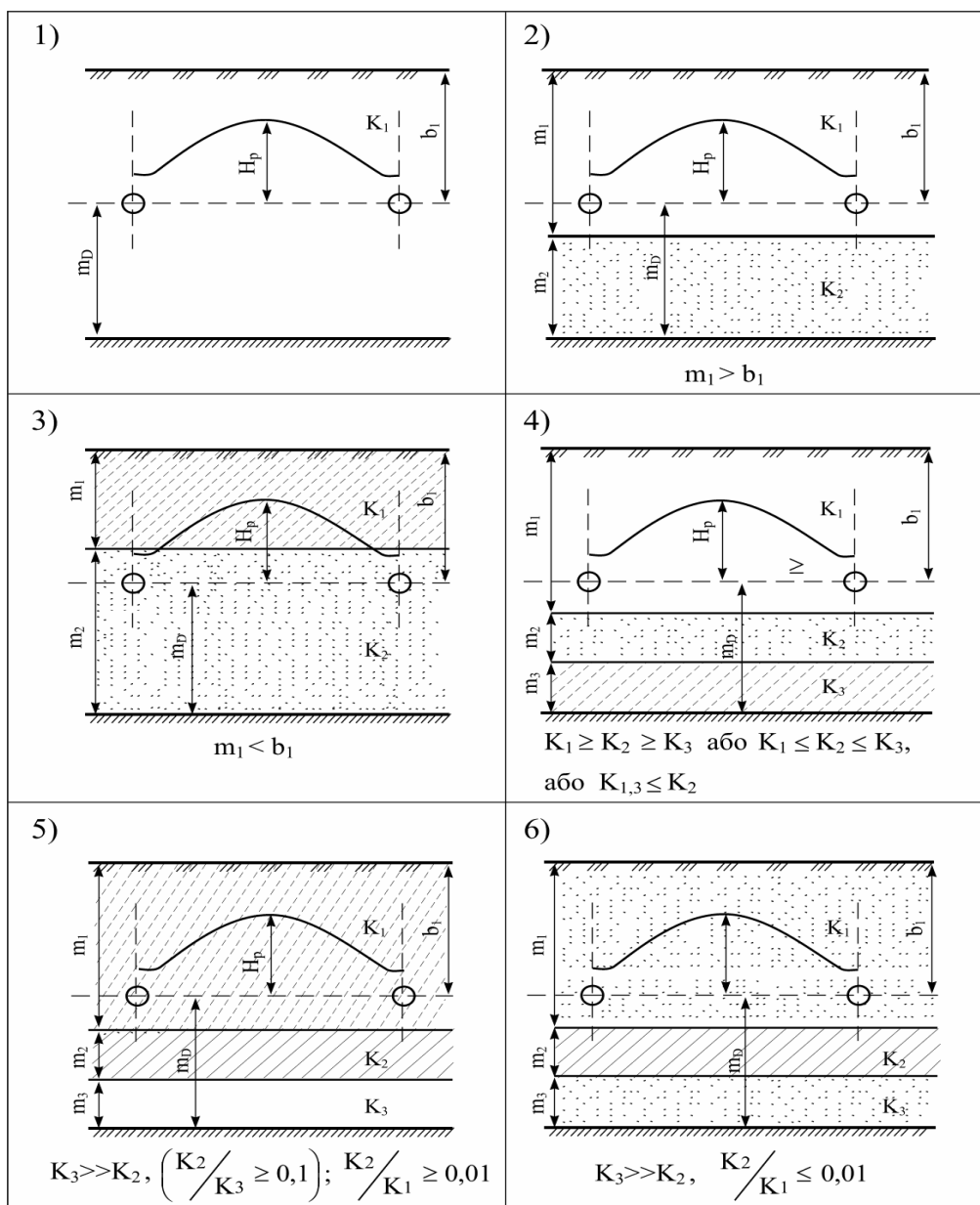


Рис. Б.2. Розрахункові схеми роботи дренажу:

- 1 – одношарова схема;
- 2 – двошарова схема, коли  $m_1 > b_1$ ;
- 3 – двошарова схема, коли  $m_1 < b_1$ ;
- 4 – тришарова схема, коли  $K_1 \geq K_2 \geq K_3$ ;
- 5 – тришарова схема, коли  $K_3 \gg K_2$ ;
- 6 – тришарова схема, аналогічна схемі 5, коли  $K_2/K_1 \leq 0,01$

## Приклад розрахунку за програмою "DRENAG

## Вхідні дані

(об'єкт «Світанок» Рокитнівського району Рівненської області)

Загальні умови розрахунку:

```

-----
:               : кількість розрахункових :               :
: Зональні :-----:-----:шифр :
: коефіцієнти:культу: діаметрів : конструкцій :фільтра:
:-----:в сіво-: дрен :фільтрів дрен:ційної :
: : : зміні :-----:-----:схеми :
: A : B : :гонч.:пласт:гонч. :пластм: :
:-----
400 52 5 3 2 5 2 4

```

- Гідрогеологічні умови.

```

-----
: коефіцієнти фільтрації,м/д: товщини шарів, м :віддаль :коефіці-:
:-----:-----:-----:від осі :ент водо:
: верхньо-:середньо:ніжнього: верх- : серед- : ниж- :дрени до: віддачі:
: го шару :го шару : шару : нього : нього : нього :водоуп.м: :
:-----
0.5 0.7 1.0 2.5 1.7 1.5 4.5 0.05

```

- Умови роботи дренажу та параметри фільтрів.

```

-----
: Глибина ґрунто-:глибина:фільтр з рулонних мат-в :піщано-гравійна засипка:
: вих вод, м :заклад-:-----:-----:
:-----:кі дрен:товщина:ширина :коэф-т :ширина :товщина:коэф-т :
: почат- :кінцева: м : м : м :фільт-і : м : м :фільт-і:
: кова : : : : : м/добу : : : м/добу :
:-----
0 0.6 1.2 0.002 0.1 15 0.5 0.3 15

```

- Конструкція гончарних дрен та їх кошторисна вартість.

```

-----
: діаметр:ширина :Витрати на будівництво при відповідному:
: дрен, :водопри: шифрі фільтру, крб/м :
: мм :ім. щі-:-----:-----:
: :лини, м: 1 : 2 : 3 : 4 : 5 :
:-----
50 0.002 0.546 0.559 0.45 0.492 4.949
75 0.002 0.854 0.837 0.704 0.576 5.192
100 0.002 1.101 1.114 0.957 1.009 5.434

```

- Конструкція пластмасових дрен та їх кошторисна вартість

```

-----
: діаметр:діаметр: крок :кільк: витрати на буд-во при :
: лрен, :перфора:перф-і, :рядів:відпов.шифрі ф-ру, крб/м :
: мм :ціі, : м :перф.:-----:-----:
: : см : : : 6 : 7 :
:-----
50 0.3 0.01 4 0.498 4.832
63 0.35 0.011 4 0.504 4.897

```

- Проект-е сільсько-госп. використання земель.

```

-----
:шифр :площа :проект.:закупів:
:куль-:під ку:врожайн: ціна, :
:ри :льт,га: ц/га :крб/ц :
:-----
3 100 30 12.9
2 142.3 32 12.9
6 36.3 170 12.3
8 71.1 350 1.11
7 34.8 430 3.0

```

## Результати оптимізаційних розрахунків за програмою «DRENAG»

Rivnenska

## РОЗРАХУНОК МІЖДРЕННИХ ВІДСТАНЕЙ

## Результати оптимізаційних розрахунків

=====					
:	:	:	оптимум для	:	:
:	шифр	:	даного варіанту	:	мінімум
:	фільтру:	діаметр:	-----	:	zр+dру
:	:	:	q(n)	:	b
=====					
:	1	:	50.0	:	0.49
:	1	:	75.0	:	0.48
:	1	:	100.0	:	0.47
:	2	:	50.0	:	0.54
:	2	:	75.0	:	0.54
:	2	:	100.0	:	0.48
:	3	:	50.0	:	0.54
:	3	:	75.0	:	0.54
:	3	:	100.0	:	0.48
:	4	:	50.0	:	0.54
:	4	:	75.0	:	0.54
:	4	:	100.0	:	0.48
:	5	:	50.0	:	0.45
:	5	:	75.0	:	0.45
:	5	:	100.0	:	0.45
:	6	:	50.0	:	0.54
:	6	:	63.0	:	0.54
:	7	:	50.0	:	0.45
:	7	:	63.0	:	0.45

## оптимальний варіант

:	6	:	63.0	:	0.54
:		:		:	28.95
:		:		:	242.03

Ш и ф р и конструкцій дренажу:

- 1.труби гончарні без фільтра чи з внутрішніми з'єднувальними муфтами
- 2.труби гончарні з суцільною обгорткою фільтром із рулонних матеріалів
- 3.труби гончарні з фільтром у вигляді полоски на стиках
- 4.труби гончарні з фільтром із рулонних матеріалів у вигляді суцільної полоси знизу і полосок на стиках
- 5.труби гончарні із гравійно-песчаною засипкою
- 6.труби пластмасові із суцільною обгорткою
- 7.труби пластмасові із пісчано-гравійною засипкою

Таблиця Б.3

Найменування сільськогосподарських культур і їх шифр

Шифр культури	Найменування культури
1	Озимі зернові
2	Ярові культури
3	Багаторічні трави
4	Луги та пасовища
5	Льон
6	Картопля
7	Буряк
8	Кукурудза
9	Однорічні трави
10	Овочі

Таблиця Б.4

Сільськогосподарське використання земель

Найменування культури	Проектні питомі с.-г. витрати у.о./ц.	Проектний врожай, ц/га	Закупівельна ціна, у.о./ц
Зернові:			
озимі	12,0...10,6	29,0...33,0	160
ярові	10,5...9,3	36,0...39,0	130
Цукровий буряк	3,2...2,6	41,0...43,0	43
Льон (волокно)	230,0...210	6,0...9,0	3620
Картопля	10,8...8,6	190,0...220,0	132
Морква	5,5...4,9	400,0...450,0	100
Капуста	4,9...3,9	300,0...350,0	150
Овочі в середньому	13,5...8,5	240,0...300,0	129
Кукурудза (силос)	0,7...0,5	250,0...350,0	9
Кормовий буряк	1,7...1,4	370,0...410,0	21
Трави на зелений корм:			
багаторічні	0,5...0,4	260,0...30,0	9.6
однорічні	0,6...0,4	190,0...250,0	9.6
Трави на сіно:			
багаторічні	3,2...2,6	35,0...45,0	37
однорічні	2,5...2,0	25,0...35,0	30
Сінокоси	2,0...1,5	20,0...20,0	25



Таблиця Б.5

Матеріали та вироби, рекомендовані до використання  
в якості дренажних фільтрів

Матеріали	Марка	ГОСТ, ТУ	Товщина, мм	Коефіцієнт фільтрації, м/добу
Холст скло волокнистий	ВВ-АМ	ТУ21—23—131-80	$0,8 \pm 0,2$	60
	ВВ-М	ТУ21—23—141—81	$1,2 \pm 0,1$	40
	ВВ-Г	ТУ21—23—44—79	$0,4 \pm 0,1$	70
	ВВК	ТУ21-23-97-77	$0,6 \pm 0,1$	50
Полотно клесне не тканинне технічного призначення	—	ТУ17УССР36050—83	$0,6 \pm 0,1$	25
Фільтри не тканинні дренажні для меліоративних систем	—	ТУ550.2.121.81	$3,5 \pm 0,5$	20
Полотно не тканинне голкопробивне захисно - фільтруюче	СІЗІ	ТУ42—21—06—78	$4,5 \pm 0,4$	20
Полотно не тканинне клесне меліоративне	НКЛМ	ТУ33—144—80	0,8	50
Нітрон не тканинний голкопробивний	—	Союзводополімер	1,2	50
Лавсан не тканинний клесний	ВНПНТМ	ТУ17—14—195—83	0,3	30
Нетканий клесний матеріал з вторинної текстильної речовини	ВНВР	ТУ63—178—ОП	1,6	120
Полотно не тканинне клеяно захисно- фільтруюче для дренажу	—	ТУ33-39-81 УССР	0,7	26
Холст волокнисто пористий з поліетилену	ПЄ-холст	ТУ33-4431-04-83	1...2	350
Базальтовий холст	ВВБ-М	УССР—75	0,5 і 1,0	50

Таблиця Б.6

Орієнтовні значення коефіцієнта водовіддачі мінеральних ґрунтів

Найменування ґрунту	Зміст часток		Коефіцієнт водовіддачі
	Глина < 0,01 мм	Пісок > 0,01 мм	
Пісок рихлий	0...5	100...90	0,12...0,15
Пісок зв'язний	5...10	95...90	0,10...0,12
Супісок	10...20	90...80	0,09...0,11
Суглинок легкий	20...30	80...70	0,08...0,10
Суглинок середній	30...40	70...60	0,06...0,08
Суглинок тяжкий	40...50	60...50	0,05...0,07
Глина легка	50...70	50...30	0,04...0,06
Глина середня	70...80	30...20	0,03...0,05
Глина тяжка	80	20	0,02...0,04

Таблиця Б.7

Технічні характеристики дренажних гофрованих труб з полівінілхлориду

Зовнішній діаметр, мм	Товщина стінки, мм	Розміри гофри, мм			Розміри щілин, мм	Площа водоприйому отворів, см/мм	Маса 1 м труб, кг
		крок	висота	ширина			
Тип 1							
50	0,5+0,2-0,1	6,1	2,8+0,4	2,7	5x1,5±0,3	35,7	0,18
63	0,5+0,2-0,1	6,9	3,4+0,4	2,9	5x1,5±0,3	31,7	0,24
75	0,6±0,2	7,5	3,9+0,4	3,1	8x1,5±0,3	35,1	0,32
Тип 2							
90	0,6±0,2	8,6	4,4+0,6	3,5	7x1,5±0,3	36,0	0,38
110	0,6±0,2	10,0	5,0+0,6	3,9	7x1,5±0,3	30,8	0,46
125	0,7 ± ,2	12,0	5,5+0,6	4,3	8x1,5±0,3	29,4	0,59

Таблиця Б.8

Технічна характеристика дренажних гофрованих труб з поліетилену високою щільністю(по ТУ6-0,5-1078-78)

Зовнішній діаметр, мм	Товщина стінки, мм	Розміри гофри, мм			Розміри щілин, мм	Площа водоприйому отворів, см/мм	Маса 1 м труби, кг
		крок	висота	ширина			
50	0,8+0,3	10,0	3,6	4,3	3,0±0,3	14	0,18
63	0,9+0,3	11,0	4,3	5,0	3,5±0,3	17	0,25
75	0,9+0,4	13,75	4,9	6,0	4,0±0,3	18	0,32
90	0,9+0,4	16,0	6,4	6,0	4,0±0,3	23	0,38
110	0,9+0,5	19,5	7,8	6,0	4,0±0,3	19	0,47
125	1,0+0,5	22,0	8,9	6,0	4,0±0,3	17	0,59

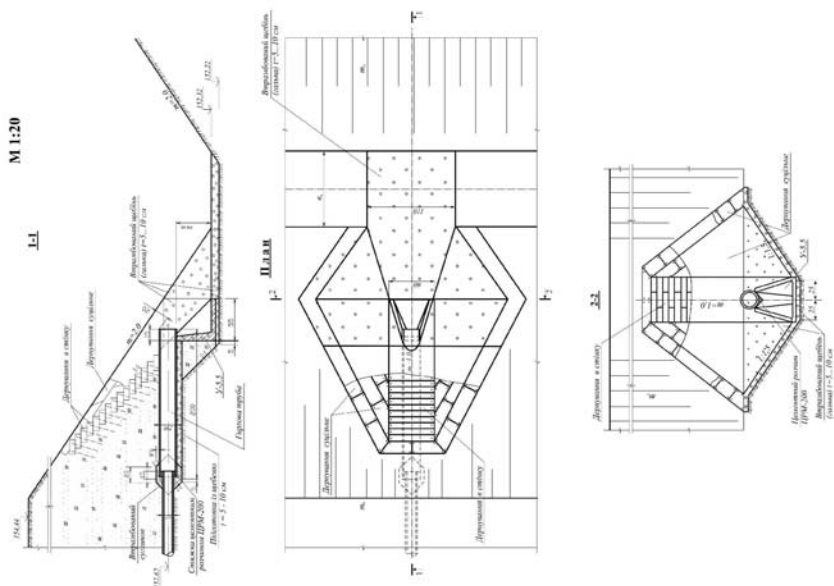


Рис. Б.3. План ділянки дренажу

# СПОРУДИ НА ЗАКРИТІЙ ОСУШУВАЛЬНІЙ МЕРЕЖІ

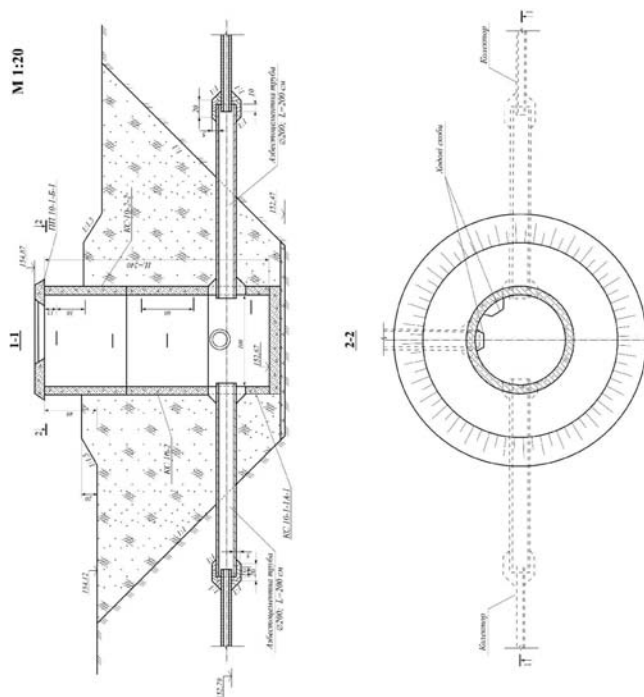
**Гирлова споруда У-5.5 на 3.2.12 Др**

M 1:20



Колодязь оглядовый КО-100-240 на 3.2.12 Др ПК 0+84

**M 1:20**

[illegible]

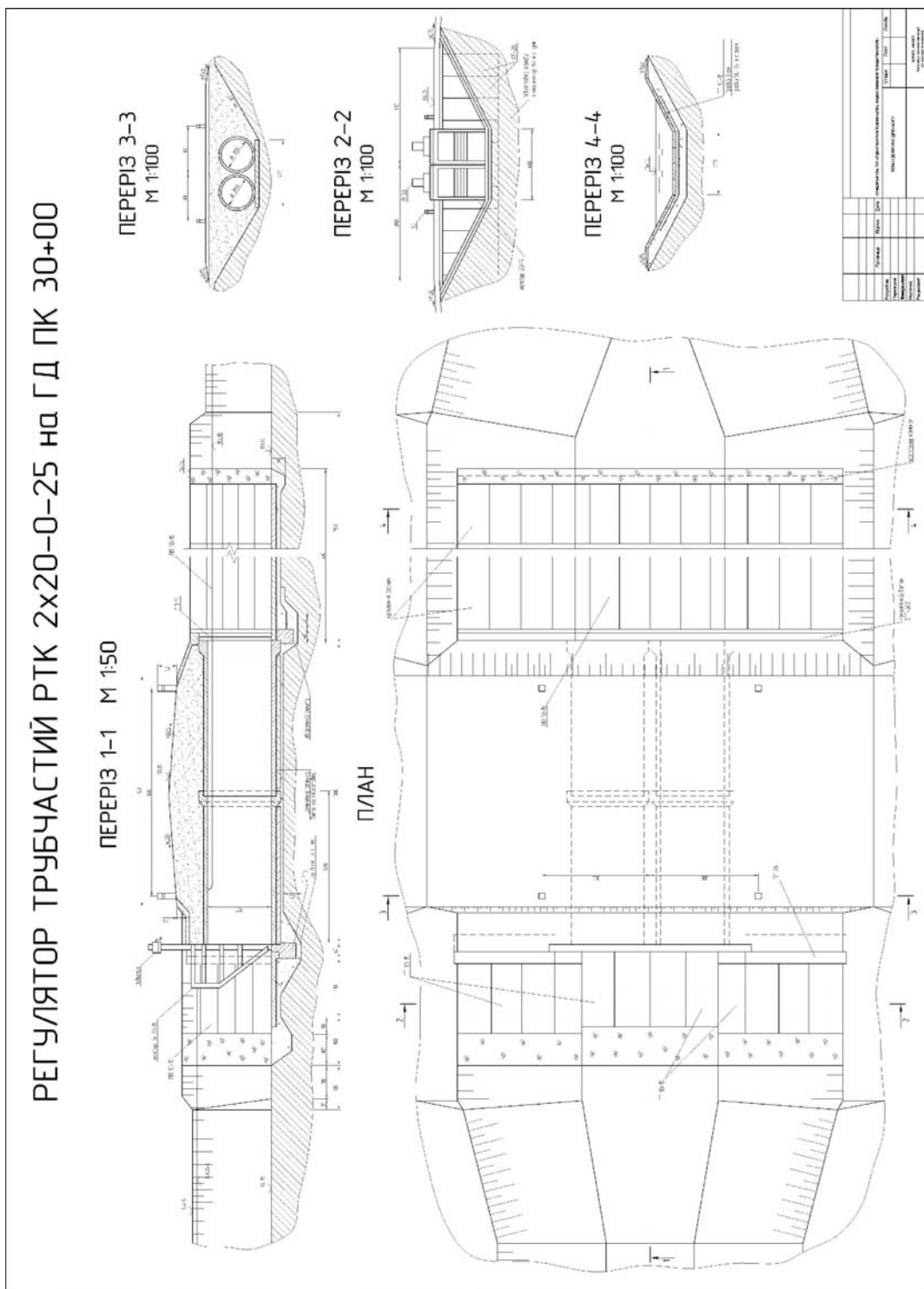


Рис. Б.5. Конструктивна схема трубчастого регулятора-переїзду

# Додаток В

Таблиця В.1

В х і д н і д а н і

Зона | Кіл-ть  
обл. | шлюзів  
2 | 1

Дані по шлюзах

Шлюз	Кіл. каналів	ККД уч-ку м к	Забір притік води	Велич опадів	Дефіцит волог. повітря
------	--------------	---------------	-------------------	--------------	------------------------

sh 1 0.85 0 417 846

Дані по каналах і полях

Канал	Кіл. по-лів	ККД каналу	Код куль-тури	Уро-жай-ніст	Шифр грун-ту	Пло-ща	Макс. запас волог	Почат запас волог	Коди спо-в рег-я	ККД зроше-ння	ККД зволо-ження	Норма поли-ву
k	5	0.90	14	30	3	100	580	412.5	11111	0.8	0.6	300
			3	32	3	142	580	412.5	11111	0.8	0.6	300
			6	170	3	37	580	412.5	11111	0.8	0.6	300
			16	350	3	72	580	412.5	11111	0.8	0.6	300
			8	430	3	35	580	412.5	11111	0.8	0.6	300

В Х І Д Н І Д А Н І для економічного розрахунку.

Розрахунковий строк роботи системи (років): 1

шлюз	вартість води (крб)	
	зрош.дощ.	п/г звол.

Sh 0 0

шлюз , канал культура	план. с/г витр.	закуп ціна	кап.вкладення / витрати на експл.							
			попер.шл	зр.дощув	п/г звол	осушення	дощ.+ос.			

. Sh k  
Багатор.трави (сіно) 3.2 12.9 1200 18 2200 55 1700 34 1000 10 2000 50  
Ярові зернові 10.5 12.9 1200 18 2200 55 1700 34 1000 10 2000 50  
Картопля 10.8 12.3 1200 18 2200 55 1700 34 1000 10 2000 50  
Кукурудза на силос 0.7 1.11 1200 18 2200 55 1700 34 1000 10 2000 50  
Буряк кормовий 1.7 3.0 1200 18 2200 55 1700 34 1000 10 2000 50

Таблиця В.2

Основні види інформації, що використовуються при реалізації проведення водобалансових розрахунків

Позначення	Зміст інформації
Вихідна документація	
ШЗ	Шифр кліматичної зони розміщення об'єкта
ШК <sub>i</sub>	Шифри сільськогосподарських культур
ШГ <sub>j</sub>	Шифри різновидів ґрунтів
F <sub>j</sub>	Площа, які займають різні види ґрунтів у межах об'єкта
N <sub>50%</sub>	Сума атмосферних опадів за IV-X місяці періоду вегетації 50%-ї забезпеченості, мм
$\sum D_{50\%}$	Сума середньодобових дефіцитів вологості повітря за той самий період, мм
$Y_i^n$	Проектний урожай вирощуваних культур, ц/га
$\alpha_i$	Частка культури в сівозміні
$WRh_j^0$	Запас продуктивної вологи у розрахунковому шарі ґрунту, коли рівноважний волого вміст є максимальним, м <sup>3</sup> /га
$\eta$	Коефіцієнт корисної дії (ККД) способу зволоження осушуваних земель
h	Розрахунковий шар ґрунту 0...0,5 м
t	Початковий час розрахунків
$\tau$	Розрахунковий інтервал часу: місяць, період вегетації
ОС	Осушення
ЗВШ	Зволожувальне шлюзування
ПШ	Попереджувальне шлюзування
ЗР	Зрошення дощуванням
S	За способом регулювання

Таблиця В.3

Середні значення опадів і сум середньодобового дефіциту  
вологості повітря за вегетацію (IV-X міс.) для зони  
достатнього і нестійкого зволоження України, мм

Шифр зони	Область	Опади $N^{50}$	Дефіцит вологості повітря, $\sum N_{50}$	Кліматичний дефіцит, ( $E_0-N$ )	
				області	зони
1	2	3	4	5	6
1	Львівська	545	905	180	$\leq 240$
	Волинська	431	812	218	
	Івано-Франківська	484	882	222	
2	Чернівецька	492	926	249	240-280
	Тернопільська	464	893	250	
	Житомирська	428	858	258	
	Рівненська	417	846	260	
3	Закарпатська	510	998	288	280-320
	Хмельницька	438	920	298	
	Вінницька	424	928	318	
4	Чернігівська	382	916	350	320-380
	Київська	428	986	361	
	Сумська	397	951	364	
	Черкаська	382	940	370	
5	Полтавська	359	951	402	$>380$

Таблиця В.4

Продуктивний запас води в розрахунковому шарі 0,5 м  
для різних типів ґрунтів,  $m^3/га$

Шифр ґрунту	Ґрунт	Продуктивний запас води
1	Пісок	450...500
2	Супісок	500...550
3	Суглинок	550...600
4	Глина	300...350
5	Торф	650...700



Таблиця В.5

## Найменування сільськогосподарських культур і їх шифр

Шифр культури	Найменування культури	Основна продукція	Період вегетації, міс.
1	Зернобобові	зерно	IV-VIII
2	Ярі зернові	зелена маса	IV-VII
3	Озимі зернові	зерно	IV-VIII
4	Льон	волокно	IV-VIII
5	Картопля	бульби	V-VIII
6	Цукровий буряк	коріння	V-IX
7	Буряк кормовий	коріння	V-IX
8	Буряк столовий	коріння	V-X
9	Морква	коріння	V-X
10	Помідори	томати	V-X
11	Капуста	качани	V-X
12	Однорічні трави	зелена маса	V-X
13	Багаторічні трави	сіно	V-IX
14	Кукурудза	зерно	IV-IX
15	Культурні пасовища	зелена маса	V-IX

Таблиця В.6

## Сільськогосподарське використання земель

Найменування культури	Проектні питомі с.-г. витрати, у.о./ц.	Проектний врожай, ц/га	Закупівельна ціна, у.о./ц	Собівартість, ц/га
Зернові:				
озимі	12,0...10,6	29,0...33,0	160	20,3...19,8
ярові	10,5...9,3	36,0...39,0	130	25,2...23,4
Цукровий буряк	3,2...2,6	41,0...43,0	43	28,7...25,8
Льон (волокно)	230...210	6,0...9,0	3620	4,2...4,0
Картопля	10,8...8,6	190,0...220,0	132	133...132
Морква	5,5...4,9	400,0...450,0	100	280...270
Капуста	4,9...3,9	300,0...350,0	150	210...200
Овочі в середньому	13,5...8,5	240,0...300,0	129	168...150
Кукурудза (силос)	0,7...0,5	250,0...350,0	9	175...160
Кормовий буряк	1,7...1,4	370,0...410,0	21	256...246
Трави на зелений корм:				
багаторічні	0,5...0,4	260,0...300,0	9,6	182...180
однорічні	0,6...0,4	190,0...250,0	9,6	133...125
Трави на сіно:				
багаторічні	3,2...2,6	35,0...45,0	37	24,5...22,3
однорічні	2,5...2,0	25,0...35,0	30	17,5...15,2
Сінокоси	2,0...1,5	20,0...20,0	25	14,0...14,0

## Результати розрахунку № 1

Rivnenska

## СИСТЕМНИЙ ПЛАН ВОДОКОРИСТУВАННЯ.

Позначення: WP - запас продукт.вологи на почат. и кінець місяця,м3/га.  
 . OR - ефективні опади,м3/га  
 . E - потенц.сумарне випаровування, м3/га  
 . EF - ефективне сумарне випаровування, м3/га  
 . VVI- величина живлення,що використовується,м3/га  
 . N\*M- кіл-ть поливів і поливна норма,м3/га  
 .

## ВОДНИЙ БАЛАНС С/Г ПОЛІВ ЗА ПЕРІОД ВЕГЕТАЦІЇ

: P=50% : P=75% : P=90%																		
МТCЯЦЬ: WP OR E EF VVI N*M: WP OR E EF VVI N*M: WP OR E EF VVI N*M																		
шлюз Sh , канал k , Багатор.трави (сіно) f=100.0																		
попереджувальне шлюзування																		
435 435 435																		
квіт	509	94	32	32	12	0	495	84	37	37	13	0	466	59	42	42	13	0
	580	125	32	32	23	0	564	113	37	29	-9	0	488	79	84	84	27	0
	580	125	63	51	-49	0	580	113	74	74	23	0	481	79	126	126	40	0
трав	550	125	158	158	3	0	547	113	221	221	75	0	389	79	252	252	81	0
	525	156	190	190	8	0	542	141	221	221	75	0	317	99	252	252	81	0
	544	156	221	221	84	0	512	141	258	258	88	0	245	99	252	252	81	0
черв	563	156	221	221	84	0	483	141	258	258	88	0	144	99	294	294	94	0
	537	188	221	221	7	0	482	169	258	258	88	0	63	119	294	294	94	0
	568	188	253	253	96	0	481	169	258	258	88	0	-7	119	336	298	109	0
липен	541	219	253	253	8	0	508	197	258	258	88	0	-26	139	378	286	128	0
	521	250	285	285	14	0	563	225	258	258	88	0	-42	158	378	306	132	0
	571	188	221	221	84	0	562	169	258	258	88	0	-51	119	294	233	104	0
серп	544	188	221	221	6	0	560	169	258	258	88	0	-61	119	294	234	106	0
	519	156	190	190	9	0	555	141	221	221	75	0	-73	99	294	219	108	0
	546	125	158	158	60	0	522	113	221	221	75	0	-83	79	252	183	94	0
верес	573	125	158	158	60	0	513	113	184	184	63	0	-85	79	168	144	62	0
	544	125	158	158	4	0	504	113	184	184	63	0	-85	79	126	126	47	0
	546	125	126	126	3	0	520	113	147	147	50	0	-84	79	84	109	31	0
-----																		
	546	3161	516	520	3611	1207	-84	4200	1432									
	2814	3149	0	2537	3603	0	1781	3734	0									
зрошення на фоні попереджувального шлюзування																		
435 435 435																		
квіт	509	94	32	32	12	0	495	84	37	37	13	0	466	59	42	42	13	0
	580	125	32	32	23	0	564	113	37	29	-9	0	488	79	84	84	27	0
	580	125	63	51	-49	0	580	113	74	74	23	0	481	79	126	126	40	0
трав	550	125	158	158	3	0	547	113	221	221	75	0	389	79	252	252	81	0
	525	156	190	190	8	0	542	141	221	221	75	0	317	99	252	252	81	0
	544	156	221	221	84	0	512	141	258	258	88	0	545	99	252	252	81	300
черв	563	156	221	221	84	0	483	141	258	258	88	0	444	99	294	294	94	0
	537	188	221	221	7	0	482	169	258	258	88	0	363	119	294	294	94	0
	568	188	253	253	96	0	481	169	258	258	88	0	553	119	336	336	108	300
липен	541	219	253	253	8	0	508	197	258	258	88	0	434	139	378	378	121	0
	521	250	285	285	14	0	563	225	258	258	88	0	336	158	378	378	121	0
	571	188	221	221	84	0	562	169	258	258	88	0	555	119	294	294	94	300
серп	544	188	221	221	6	0	560	169	258	258	88	0	474	119	294	294	94	0
	519	156	190	190	9	0	555	141	221	221	75	0	373	99	294	294	94	0
	546	125	158	158	60	0	522	113	221	221	75	0	280	79	252	252	81	0
верес	573	125	158	158	60	0	513	113	184	184	63	0	545	79	168	168	54	300
	544	125	158	158	4	0	504	113	184	184	63	0	539	79	126	126	40	0
	546	125	126	126	3	0	520	113	147	147	50	0	561	79	84	84	27	0
-----																		
	546	3161	516	520	3611	1207	561	4200	1345									
	2814	3149	0	2537	3603	0	1781	4200	1200									

зволожувальне шлюзування																			
435										435									
квіт	507	94	32	32	10	0	490	84	37	37	8	0	459	59	42	42	7	0	
580	125	32	32	20	0	573	113	37	37	8	0	468	79	84	84	13	0		
580	125	63	51	-49	0	580	113	74	74	32	0	441	79	126	126	20	0		
трав	550	125	158	158	3	0	517	113	221	221	45	0	309	79	252	252	40	0	
574	156	190	190	58	0	482	141	221	221	45	0	337	99	252	252	181	141		
576	156	221	221	67	0	417	141	258	258	53	0	366	99	252	252	181	141		
черв	579	156	221	221	67	0	353	141	258	258	53	0	382	99	294	294	212	165	
549	188	221	221	4	0	317	169	258	258	53	0	419	119	294	294	212	165		
561	188	253	253	77	0	381	169	258	258	153	101	444	119	336	336	242	188		
липен	534	219	253	253	7	0	373	197	258	258	53	0	476	139	378	378	272	212	
512	250	285	285	12	0	393	225	258	258	53	0	317	158	378	378	60	0		
545	188	221	221	67	0	357	169	258	258	53	0	354	119	294	294	212	165		
серп	579	188	221	221	67	0	321	169	258	258	53	0	390	119	294	294	212	165	
549	156	190	190	3	0	372	141	221	221	131	86	407	99	294	294	212	165		
564	125	158	158	48	0	309	113	221	221	45	0	416	79	252	252	181	141		
верес	579	125	158	158	48	0	347	113	184	184	110	72	354	79	168	168	27	0	
549	125	158	158	3	0	313	113	184	184	38	0	327	79	126	126	20	0		
550	125	126	126	2	0	308	113	147	147	30	0	336	79	84	84	13	0		
-----										-----									
	550	3161	514			308	3611	1016				336	4200	2317					
	2814	3149				0	2537	3611				259	1781	4200	1648				
осушення																			
435										435									
квіт	507	94	32	32	10	0	490	84	37	37	8	0	459	59	42	42	7	0	
580	125	32	32	20	0	573	113	37	37	8	0	468	79	84	84	13	0		
580	125	63	51	-49	0	580	113	74	74	32	0	441	79	126	126	20	0		
трав	550	125	158	158	3	0	517	113	221	221	45	0	309	79	252	252	40	0	
574	156	190	190	58	0	482	141	221	221	45	0	196	99	252	252	40	0		
576	156	221	221	67	0	417	141	258	258	53	0	83	99	252	252	40	0		
черв	579	156	221	221	67	0	353	141	258	258	53	0	-5	99	294	235	47	0	
549	188	221	221	4	0	317	169	258	258	53	0	-14	119	294	177	48	0		
561	188	253	253	77	0	280	169	258	258	53	0	-28	119	336	189	57	0		
липен	534	219	253	253	7	0	272	197	258	258	53	0	-44	139	378	221	66	0	
512	250	285	285	12	0	292	225	258	258	53	0	-59	158	378	240	67	0		
545	188	221	221	67	0	256	169	258	258	53	0	-68	119	294	181	53	0		
серп	579	188	221	221	67	0	220	169	258	258	53	0	-77	119	294	182	54	0	
549	156	190	190	3	0	185	141	221	221	45	0	-88	99	294	164	55	0		
564	125	158	158	48	0	122	113	221	221	45	0	-96	79	252	135	47	0		
верес	579	125	158	158	48	0	88	113	184	184	38	0	-98	79	168	113	32	0	
549	125	158	158	3	0	54	113	184	184	38	0	-99	79	126	104	24	0		
550	125	126	126	2	0	49	113	147	147	30	0	-99	79	84	95	16	0		
-----										-----									
	550	3161	514			49	3611	758				-99	4200	726					
	2814	3149				0	2537	3611				0	1781	3044	0				
зрошення на фоні осушення																			
435										435									
квіт	507	94	32	32	10	0	490	84	37	37	8	0	459	59	42	42	7	0	
580	125	32	32	20	0	573	113	37	37	8	0	468	79	84	84	13	0		
580	125	63	51	-49	0	580	113	74	74	32	0	441	79	126	126	20	0		
трав	550	125	158	158	3	0	517	113	221	221	45	0	309	79	252	252	40	0	
574	156	190	190	58	0	482	141	221	221	45	0	496	99	252	252	40	300		
576	156	221	221	67	0	417	141	258	258	53	0	383	99	252	252	40	0		
черв	579	156	221	221	67	0	353	141	258	258	53	0	535	99	294	294	47	300	
549	188	221	221	4	0	317	169	258	258	53	0	407	119	294	294	47	0		
561	188	253	253	77	0	280	169	258	258	53	0	544	119	336	336	54	300		
липен	534	219	253	253	7	0	572	197	258	258	53	300	365	139	378	378	60	0	
512	250	285	285	12	0	544	225	258	258	4	0	506	158	378	378	60	300		
545	188	221	221	67	0	507	169	258	258	53	0	377	119	294	294	47	0		
серп	579	188	221	221	67	0	471	169	258	258	53	0	549	119	294	294	47	300	
549	156	190	190	3	0	436	141	221	221	45	0	401	99	294	294	47	0		
564	125	158	158	48	0	373	113	221	221	45	0	569	79	252	252	40	300		
верес	579	125	158	158	48	0	339	113	184	184	38	0	507	79	168	168	27	0	
549	125	158	158	3	0	305	113	184	184	38	0	480	79	126	126	20	0		
550	125	126	126	2	0	300	113	147	147	30	0	489	79	84	84	13	0		
-----										-----									
	550	3161	514			300	3611	709				489	4200	669					
	2814	3149				0	2537	3611				300	1781	4200	1800				

шлюз Sh , канал k , Ярові зернові f=143.0																		
попереджувальне шлюзування																		
435																		
квіт	527	125	46	46	13	0	505	113	55	55	12	0	462	79	63	63	11	0
	580	125	70	70	2	0	553	113	82	82	18	0	464	79	95	95	17	0
трав	566	125	116	93	-9	0	537	113	165	165	36	0	387	79	190	190	34	0
	580	156	139	139	3	0	486	141	247	247	54	0	253	99	285	285	51	0
	533	156	209	209	6	0	412	141	274	274	60	0	93	99	316	316	57	0
черв	524	156	232	232	67	0	318	141	302	302	66	0	-9	99	348	264	64	0
	514	188	279	279	81	0	230	169	329	329	72	0	-29	119	380	211	72	0
	487	188	302	302	88	0	142	169	329	329	72	0	-48	119	380	213	75	0
липен	524	219	256	256	74	0	125	197	274	274	60	0	-59	139	316	212	63	0
	496	250	232	186	-38	0	179	225	219	219	48	0	-62	158	253	212	51	0
	535	188	209	209	61	0	198	169	192	192	42	0	-66	119	221	167	45	0
серп	580	188	139	139	3	0	238	169	165	165	36	0	-67	119	190	159	38	0
	580	156	93	74	-45	0	293	141	110	110	24	0	-68	99	127	125	26	0
-----																		
	580	2322	306				293	2743	600				-68	3164		604		0
	2220	2234				0	2001	2743				0	1406	2512				0
зрошення на фоні попереджувального шлюзування																		
435																		
квіт	527	125	46	46	13	0	505	113	55	55	12	0	462	79	63	63	11	0
	580	125	70	70	2	0	553	113	82	82	18	0	464	79	95	95	17	0
трав	566	125	116	93	-9	0	537	113	165	165	36	0	387	79	190	190	34	0
	580	156	139	139	3	0	486	141	247	247	54	0	553	99	285	285	51	300
	533	156	209	209	6	0	412	141	274	274	60	0	393	99	316	316	57	0
черв	524	156	232	232	67	0	318	141	302	302	66	0	506	99	348	348	63	300
	514	188	279	279	81	0	530	169	329	329	72	300	314	119	380	380	68	0
	487	188	302	302	88	0	442	169	329	329	72	0	421	119	380	380	68	300
липен	524	219	256	256	74	0	425	197	274	274	60	0	301	139	316	316	57	0
	496	250	232	186	-38	0	479	225	219	219	48	0	552	158	253	253	46	300
	535	188	209	209	61	0	498	169	192	192	42	0	489	119	221	221	40	0
серп	580	188	139	139	3	0	538	169	165	165	36	0	452	119	190	190	34	0
	580	156	93	74	-45	0	547	141	110	88	-11	0	447	99	127	127	23	0
-----																		
	580	2322	306				547	2743	565				447	3164		569		
	2220	2234				0	2001	2721	300			300	1406	3164		1200		
зволожувальне шлюзування																		
435																		
квіт	524	125	46	46	11	0	500	113	55	55	7	0	457	79	63	63	6	0
	566	125	70	56	0	0	541	113	82	82	11	0	450	79	95	95	9	0
трав	551	125	116	93	-5	0	511	113	165	165	22	0	356	79	190	190	17	0
	541	156	139	112	-12	0	437	141	247	247	33	0	229	99	285	285	59	33
	536	156	209	209	49	0	340	141	274	274	36	0	109	99	316	316	97	69
черв	514	156	232	232	54	0	295	141	302	302	116	76	1	99	348	348	141	109
	488	188	279	279	65	0	204	169	329	329	70	26	-21	119	380	301	161	127
	443	188	302	302	70	0	133	169	329	329	89	46	-40	119	380	306	168	134
липен	466	219	256	256	59	0	132	197	274	274	76	40	-47	139	316	287	141	113
	538	250	232	232	54	0	190	225	219	219	52	23	-44	158	253	268	112	89
	565	188	209	209	49	0	210	169	192	192	43	18	-45	119	221	217	98	78
серп	580	188	139	139	33	0	247	169	165	165	33	11	-43	119	190	201	83	66
	580	156	93	74	-45	0	293	141	110	110	14	0	-41	99	127	152	55	44
-----																		
	580	2322	382				293	2743	602				-41	3164		1147		
	2220	2239				0	2001	2743	240			240	1406	3029		862		
осушення																		
435																		
квіт	524	125	46	46	11	0	500	113	55	55	7	0	457	79	63	63	6	0
	566	125	70	56	0	0	541	113	82	82	11	0	450	79	95	95	9	0
трав	551	125	116	93	-5	0	511	113	165	165	22	0	356	79	190	190	17	0
	541	156	139	112	-12	0	437	141	247	247	33	0	196	99	285	285	26	0
	536	156	209	209	49	0	340	141	274	274	36	0	7	99	316	316	28	0
черв	514	156	232	232	54	0	219	141	302	302	40	0	-11	99	348	149	32	0
	488	188	279	279	65	0	102	169	329	329	43	0	-23	119	380	167	36	0
	443	188	302	302	70	0	-1	169	329	315	44	0	-36	119	380	168	36	0
липен	466	219	256	256	59	0	-3	197	274	236	36	0	-43	139	316	176	31	0
	538	250	232	232	54	0	31	225	219	219	29	0	-45	158	253	186	25	0
	565	188	209	209	49	0	33	169	192	192	25	0	-48	119	221	143	22	0
серп	580	188	139	139	33	0	59	169	165	165	22	0	-49	119	190	139	19	0
	580	156	93	74	-45	0	105	141	110	110	14	0	-50	99	127	112	12	0
-----																		
	580	2322	382				105	2743	362				-50	3164		299		
	2220	2239				0	2001	2691	0			0	1406	2189				

зрошення на фоні осушення																		
435					435					435								
квітне	524	125	46	46	11	0	500	113	55	55	7	0	457	79	63	63	6	0
	566	125	70	56	0	0	541	113	82	82	11	0	450	79	95	95	9	0
траве	551	125	116	93	-5	0	511	113	165	165	22	0	356	79	190	190	17	0
	541	156	139	112	-12	0	437	141	247	247	33	0	496	99	285	285	26	300
	536	156	209	209	49	0	340	141	274	274	36	0	307	99	316	316	28	0
черве	514	156	232	232	54	0	519	141	302	302	40	300	390	99	348	348	31	300
	488	188	279	279	65	0	402	169	329	329	43	0	463	119	380	380	34	300
	443	188	302	302	70	0	285	169	329	329	43	0	536	119	380	380	34	300
липен	466	219	256	256	59	0	544	197	274	274	36	300	387	139	316	316	28	0
	538	250	232	232	54	0	578	225	219	219	29	0	315	158	253	253	23	0
	565	188	209	209	49	0	556	169	192	192	1	0	533	119	221	221	20	300
серпе	580	188	139	139	33	0	528	169	165	132	-19	0	479	119	190	190	17	0
	580	156	93	74	-45	0	573	141	110	110	14	0	463	99	127	127	11	0
-----																		
	580	2322	382			0	573	2743	296			600	463	3164		284		
		2220	2239			0	2001	2710					1406	3164		1500		
шлюз Sh , канал k , Картопля																		
f= 37.0																		
попереджувальне шлюзування																		
435					435					435								
траве	503	125	85	85	28	0	479	113	97	97	28	0	432	79	108	108	26	0
	557	156	85	68	-6	0	551	141	97	97	28	0	422	99	144	144	34	0
	580	156	114	114	20	0	537	141	129	103	-17	0	412	99	144	144	34	0
черве	566	156	142	114	-14	0	541	141	193	193	56	0	347	99	216	216	52	0
	580	188	142	142	31	0	550	169	225	225	65	0	275	119	252	252	60	0
	563	188	171	136	-17	0	559	169	225	225	65	0	175	119	287	287	69	0
липен	558	219	227	227	3	0	573	197	257	257	75	0	68	139	323	323	78	0
	533	250	284	284	9	0	519	225	290	290	10	0	-2	158	323	307	78	0
	511	188	313	313	103	0	459	169	322	322	93	0	-22	119	359	228	90	0
серпе	451	188	370	370	122	0	377	169	354	354	103	0	-52	119	431	263	115	0
	397	156	313	313	103	0	289	141	322	322	93	0	-72	99	359	219	99	0
	351	125	256	256	84	0	196	113	290	290	84	0	-86	79	287	173	81	0
верес	343	125	199	199	66	0	103	113	290	290	84	0	-92	79	216	146	61	0
	373	125	142	142	47	0	79	113	193	193	56	0	-94	79	144	121	40	0
-----																		
	373	2843	579			0	79	3284	823			0	-94	3593		917		
		2345	2763			0	2114	3258				0	1485	2931		0		
зрошення на фоні попереджувального шлюзування																		
435					435					435								
траве	503	125	85	85	28	0	479	113	97	97	28	0	432	79	108	108	26	0
	557	156	85	68	-6	0	551	141	97	97	28	0	422	99	144	144	34	0
	580	156	114	114	20	0	537	141	129	103	-17	0	412	99	144	144	34	0
черве	566	156	142	114	-14	0	541	141	193	193	56	0	347	99	216	216	52	0
	580	188	142	142	31	0	550	169	225	225	65	0	575	119	252	252	60	300
	563	188	171	136	-17	0	559	169	225	225	65	0	475	119	287	287	69	0
липен	558	219	227	227	3	0	573	197	257	257	75	0	368	139	323	323	78	0
	533	250	284	284	9	0	519	225	290	290	10	0	281	158	323	323	78	0
	511	188	313	313	103	0	459	169	322	322	93	0	427	119	359	359	86	300
серпе	451	188	370	370	122	0	377	169	354	354	103	0	518	119	431	431	103	300
	397	156	313	313	103	0	289	141	322	322	93	0	344	99	359	359	86	0
	351	125	256	256	84	0	496	113	290	290	84	300	505	79	287	287	69	300
верес	343	125	199	199	66	0	403	113	290	290	84	0	420	79	216	216	52	0
	373	125	142	142	47	0	379	113	193	193	56	0	390	79	144	144	34	0
-----																		
	373	2843	579			0	379	3284	823			300	390	3593		861		
		2345	2763			0	2114	3258				300	1485	3593		1200		
зволужувальне шлюзування																		
435					435					435								
траве	497	125	85	85	23	0	468	113	97	97	17	0	419	79	108	108	13	0
	551	156	85	68	-12	0	529	141	97	97	17	0	392	99	144	144	17	0
	580	156	114	114	14	0	563	141	129	129	22	0	365	99	144	144	17	0
черве	566	156	142	114	-14	0	544	141	193	193	34	0	364	99	216	216	116	91
	580	188	142	142	31	0	527	169	225	225	39	0	368	119	252	252	136	106
	563	188	171	136	-17	0	510	169	225	225	39	0	354	119	287	287	155	121
липен	557	219	227	227	3	0	494	197	257	257	45	0	344	139	323	323	175	136
	530	250	284	284	7	0	480	225	290	290	50	0	354	158	323	323	175	136
	488	188	313	313	83	0	383	169	322	322	56	0	307	119	359	359	194	151
серпе	403	188	370	370	98	0	378	169	354	354	180	118	136	119	431	431	141	90
	329	156	313	313	83	0	360	141	322	322	163	107	47	99	359	359	171	127
	296	125	256	256	97	30	330	113	290	290	147	97	-1	79	287	283	156	121
верес	297	125	199	199	76	23	300	113	290	290	147	97	-4	79	216	200	118	92
	318	125	142	142	38	0	318	113	193	193	98	64	8	79	144	144	76	59
-----																		
	318	2843	510			0	318	3284	1054			8	3593		1660			
		2345	2763			53	2114	3284				483	1485	3573		1230		

осушення																				
435					435					435										
траве	497	125	85	85	23	0	468	113	97	97	17	0	419	79	108	108	13	0		
	551	156	85	68	-12	0	529	141	97	97	17	0	392	99	144	144	17	0		
	580	156	114	114	14	0	563	141	129	129	22	0	365	99	144	144	17	0		
черве	566	156	142	114	-14	0	544	141	193	193	34	0	274	99	216	216	26	0		
	580	188	142	142	31	0	527	169	225	225	39	0	171	119	252	252	30	0		
	563	188	171	136	-17	0	510	169	225	225	39	0	37	119	287	287	34	0		
липен	557	219	227	227	3	0	494	197	257	257	45	0	-7	139	323	222	39	0		
	530	250	284	284	7	0	480	225	290	290	50	0	-15	158	323	206	40	0		
	488	188	313	313	83	0	383	169	322	322	56	0	-28	119	359	178	45	0		
серпе	403	188	370	370	98	0	260	169	354	354	62	0	-49	119	431	196	57	0		
	329	156	313	313	83	0	135	141	322	322	56	0	-64	99	359	162	48	0		
	266	125	256	256	68	0	8	113	290	290	50	0	-73	79	287	128	39	0		
верес	245	125	199	199	53	0	-9	113	290	181	51	0	-78	79	216	113	30	0		
	265	125	142	142	38	0	-12	113	193	149	34	0	-79	79	144	100	20	0		
-----																				
265					2843	458	-12					3284	572	-79					3593	455
2345					2763	0	2114					3131	0	1485					2456	0
зрошення на фоні осушення																				
435					435					435										
траве	497	125	85	85	23	0	468	113	97	97	17	0	419	79	108	108	13	0		
	551	156	85	68	-12	0	529	141	97	97	17	0	392	99	144	144	17	0		
	580	156	114	114	14	0	563	141	129	129	22	0	365	99	144	144	17	0		
черве	566	156	142	114	-14	0	544	141	193	193	34	0	574	99	216	216	26	300		
	580	188	142	142	31	0	527	169	225	225	39	0	471	119	252	252	30	0		
	563	188	171	136	-17	0	510	169	225	225	39	0	337	119	287	287	34	0		
липен	557	219	227	227	3	0	494	197	257	257	45	0	491	139	323	323	39	300		
	530	250	284	284	7	0	480	225	290	290	50	0	365	158	323	323	39	0		
	488	188	313	313	83	0	383	169	322	322	56	0	468	119	359	359	43	300		
серпе	403	188	370	370	98	0	560	169	354	354	62	300	507	119	431	431	52	300		
	329	156	313	313	83	0	435	141	322	322	56	0	290	99	359	359	43	0		
	566	125	256	256	68	300	308	113	290	290	50	0	416	79	287	287	34	300		
верес	545	125	199	199	53	0	481	113	290	290	50	300	306	79	216	216	26	0		
	565	125	142	142	38	0	435	113	193	193	34	0	259	79	144	144	17	0		
-----																				
565					2843	458	435					3284	571	259					3593	430
2345					2763	300	2114					3284	600	1485					3593	1500
шлюз Sh , канал k , Кукурудза на силос f= 72.0																				
попереджувальне шлюзування																				
435					435					435										
траве	509	125	72	72	21	0	484	113	82	82	18	0	439	79	92	92	17	0		
	580	156	72	72	14	0	561	141	82	82	18	0	462	99	92	92	17	0		
	580	156	95	76	-42	0	580	141	109	109	12	0	461	99	123	123	22	0		
черве	580	156	119	95	-13	0	551	141	218	218	48	0	358	99	246	246	44	0		
	567	188	167	134	-21	0	549	169	218	218	48	0	276	119	246	246	44	0		
	566	188	191	191	2	0	548	169	218	218	48	0	193	119	246	246	44	0		
липен	527	219	215	172	-10	0	553	197	246	246	54	0	105	139	276	276	50	0		
	491	250	239	191	-41	0	537	225	246	246	4	0	37	158	276	276	50	0		
	492	188	262	262	76	0	494	169	273	273	60	0	-8	119	307	220	56	0		
серпе	460	188	310	310	90	0	386	169	355	355	78	0	-31	119	399	218	76	0		
	362	156	358	358	104	0	229	141	382	382	84	0	-60	99	430	214	87	0		
	284	125	286	286	83	0	107	113	300	300	66	0	-77	79	338	167	70	0		
-----																				
284					2386	263	107					2729	538	-77					3071	577
2095					2219	0	1888					2729	0	1327					2416	0
зрошення на фоні попереджувального шлюзування																				
435					435					435										
траве	509	125	72	72	21	0	484	113	82	82	18	0	439	79	92	92	17	0		
	580	156	72	72	14	0	561	141	82	82	18	0	462	99	92	92	17	0		
	580	156	95	76	-42	0	580	141	109	109	12	0	461	99	123	123	22	0		
черве	580	156	119	95	-13	0	551	141	218	218	48	0	358	99	246	246	44	0		
	567	188	167	134	-21	0	549	169	218	218	48	0	576	119	246	246	44	300		
	566	188	191	191	2	0	548	169	218	218	48	0	493	119	246	246	44	0		
липен	527	219	215	172	-10	0	553	197	246	246	54	0	405	139	276	276	50	0		
	491	250	239	191	-41	0	537	225	246	246	4	0	337	158	276	276	50	0		
	492	188	262	262	76	0	494	169	273	273	60	0	504	119	307	307	55	300		
серпе	460	188	310	310	90	0	386	169	355	355	78	0	296	119	399	399	72	0		
	362	156	358	358	104	0	529	141	382	382	84	300	342	99	430	430	77	300		
	284	125	286	286	83	0	407	113	300	300	66	0	144	79	338	338	61	0		
-----																				
284					2386	263	407					2729	538	144					3071	553
2095					2219	0	1888					2729	300	1327					3071	900

зволужувальне шлюзування																		
435																		
траве	505	125	72	72	17	0	477	113	82	82	11	0	430	79	92	92	8	0
	580	156	72	72	10	0	546	141	82	82	11	0	446	99	92	92	8	0
	580	156	95	76	-42	0	556	141	109	87	-2	0	433	99	123	123	11	0
черве	580	156	119	95	-13	0	507	141	218	218	29	0	308	99	246	246	22	0
	567	188	167	134	-21	0	487	169	218	218	29	0	233	119	246	246	51	29
	565	188	191	191	1	0	466	169	218	218	29	0	170	119	246	246	64	42
липен	527	219	215	172	-10	0	450	197	246	246	32	0	117	139	276	276	84	59
	491	250	239	191	-42	0	462	225	246	246	32	0	89	158	276	276	91	66
	477	188	262	262	61	0	394	169	273	273	36	0	20	119	307	307	119	91
серпе	426	188	310	310	72	0	345	169	355	355	137	90	-20	119	399	328	169	133
	308	156	358	358	83	0	187	141	382	382	83	33	-51	99	430	326	196	157
	202	125	286	286	56	0	93	113	300	300	93	53	-70	79	338	257	158	128
-----																		
	202	2386	172			93	2729	520				-70	3071	981				
	2095	2219				0	1888	2707			176	1327	2815	705				
осушення																		
435																		
траве	505	125	72	72	17	0	477	113	82	82	11	0	430	79	92	92	8	0
	580	156	72	72	10	0	546	141	82	82	11	0	446	99	92	92	8	0
	580	156	95	76	-42	0	556	141	109	87	-2	0	433	99	123	123	11	0
черве	580	156	119	95	-13	0	507	141	218	218	29	0	308	99	246	246	22	0
	567	188	167	134	-21	0	487	169	218	218	29	0	204	119	246	246	22	0
	565	188	191	191	1	0	466	169	218	218	29	0	99	119	246	246	22	0
липен	527	219	215	172	-10	0	450	197	246	246	32	0	-1	139	276	263	25	0
	491	250	239	191	-42	0	462	225	246	246	32	0	-4	158	276	187	25	0
	477	188	262	262	61	0	394	169	273	273	36	0	-12	119	307	154	28	0
серпе	426	188	310	310	72	0	256	169	355	355	47	0	-26	119	399	171	38	0
	308	156	358	358	83	0	65	141	382	382	50	0	-44	99	430	159	42	0
	213	125	286	286	66	0	-5	113	300	223	40	0	-55	79	338	124	33	0
-----																		
	213	2386	182			-5	2729	344				-55	3071	284				
	2095	2219				0	1888	2630			0	1327	2103	0				
зрошення на фоні осушення																		
435																		
траве	505	125	72	72	17	0	477	113	82	82	11	0	430	79	92	92	8	0
	580	156	72	72	10	0	546	141	82	82	11	0	446	99	92	92	8	0
	580	156	95	76	-42	0	556	141	109	87	-2	0	433	99	123	123	11	0
черве	580	156	119	95	-13	0	507	141	218	218	29	0	308	99	246	246	22	0
	567	188	167	134	-21	0	487	169	218	218	29	0	504	119	246	246	22	300
	565	188	191	191	1	0	466	169	218	218	29	0	399	119	246	246	22	0
липен	527	219	215	172	-10	0	450	197	246	246	32	0	286	139	276	276	25	0
	491	250	239	191	-42	0	462	225	246	246	32	0	493	158	276	276	25	300
	477	188	262	262	61	0	394	169	273	273	36	0	333	119	307	307	28	0
серпе	426	188	310	310	72	0	556	169	355	355	47	300	388	119	399	399	36	300
	308	156	358	358	83	0	365	141	382	382	50	0	396	99	430	430	39	300
	213	125	286	286	66	0	217	113	300	300	40	0	168	79	338	338	30	0
-----																		
	213	2386	182			217	2729	344				168	3071	276				
	2095	2219				0	1888	2707			300	1327	3071	1200				
шлюз Sh , канал k , Буряк кормовий																		
попереджувальне шлюзування																		
435																		
траве	515	125	67	67	22	0	494	113	76	76	22	0	450	79	85	85	20	0
	552	156	100	80	-8	0	554	141	114	114	33	0	452	99	128	128	31	0
	580	156	100	100	28	0	580	141	114	114	0	0	454	99	128	128	31	0
черве	576	156	134	107	-23	0	570	141	152	152	1	0	424	99	170	170	41	0
	580	188	167	167	17	0	552	169	190	190	3	0	381	119	213	213	51	0
	569	188	200	200	1	0	559	169	228	228	66	0	306	119	255	255	61	0
липен	557	219	234	234	3	0	534	197	228	228	6	0	251	139	255	255	61	0
	546	250	267	267	6	0	571	225	266	266	77	0	183	158	298	298	71	0
	533	188	301	301	99	0	524	169	304	304	88	0	43	119	340	340	82	0
серпе	519	188	301	301	99	0	450	169	342	342	99	0	-17	119	383	274	95	0
	474	156	301	301	99	0	322	141	380	380	110	0	-49	99	425	244	113	0
	375	125	334	334	110	0	192	113	342	342	99	0	-76	79	383	212	106	0
верес	321	125	267	267	88	0	89	113	304	304	88	0	-96	79	340	197	97	0
	290	125	234	234	77	0	-2	113	304	291	88	0	-116	79	340	200	101	0
	303	125	167	167	55	0	-11	113	266	200	79	0	-130	79	298	183	90	0
жовте	361	125	100	100	33	0	-12	113	190	171	56	0	-136	79	213	149	64	0
	410	94	67	67	22	0	72	84	0	0	0	0	-76	59	0	0	0	0
-----																		
	410	3341	728			72	3800	915				-76	4254	1115				
	2689	3294				0	2424	3702			0	1702	3331	0				

зрошення на фоні попереджувального шлюзування																		
435					435					435								
траве	515	125	67	67	22	0	494	113	76	76	22	0	450	79	85	85	20	0
	552	156	100	80	-8	0	554	141	114	114	33	0	452	99	128	128	31	0
	580	156	100	100	28	0	580	141	114	114	0	0	454	99	128	128	31	0
черве	576	156	134	107	-23	0	570	141	152	152	1	0	424	99	170	170	41	0
	580	188	167	167	17	0	552	169	190	190	3	0	381	119	213	213	51	0
	569	188	200	200	1	0	559	169	228	228	66	0	306	119	255	255	61	0
липен	557	219	234	234	3	0	534	197	228	228	6	0	551	139	255	255	61	300
	546	250	267	267	6	0	571	225	266	266	77	0	483	158	298	298	71	0
	533	188	301	301	99	0	524	169	304	304	88	0	343	119	340	340	82	0
серпе	519	188	301	301	99	0	450	169	342	342	99	0	471	119	383	383	92	300
	474	156	301	301	99	0	322	141	380	380	110	0	547	99	425	425	102	300
	375	125	334	334	110	0	492	113	342	342	99	300	335	79	383	383	92	0
верес	321	125	267	267	88	0	389	113	304	304	88	0	456	79	340	340	82	300
	290	125	234	234	77	0	286	113	304	304	88	0	577	79	340	340	82	300
	303	125	167	167	55	0	509	113	266	266	77	300	430	79	298	298	71	0
жовте	361	125	100	100	33	0	487	113	190	190	55	0	347	79	213	213	51	0
	410	94	67	67	22	0	572	84	0	0	0	0	407	59	0	0	0	0
-----																		
	410	3341	728			572	3800	912			407	4254	1021					
	2689	3294				0	2424	3800	600	1702	4254	1500						
зволожувальне шлюзування																		
435					435					435								
траве	511	125	67	67	18	0	485	113	76	76	13	0	439	79	85	85	10	0
	547	156	100	80	-13	0	532	141	114	114	20	0	426	99	128	128	15	0
	580	156	100	100	23	0	578	141	114	114	20	0	413	99	128	128	15	0
черве	576	156	134	107	-23	0	568	141	152	152	1	0	362	99	170	170	20	0
	580	188	167	167	17	0	580	169	190	190	33	0	294	119	213	213	26	0
	568	188	200	200	1	0	561	169	228	228	40	0	296	119	255	255	138	107
липен	556	219	234	234	3	0	570	197	228	228	40	0	317	139	255	255	138	107
	544	250	267	267	5	0	575	225	266	266	46	0	338	158	298	298	161	125
	511	188	301	301	79	0	493	169	304	304	53	0	301	119	340	340	184	143
серпе	477	188	301	301	79	0	380	169	342	342	59	0	157	119	383	383	120	74
	412	156	301	301	79	0	334	141	380	380	193	127	36	99	425	425	206	155
	292	125	334	334	88	0	195	113	342	342	90	31	-14	79	383	344	214	168
верес	207	125	267	267	57	0	116	113	304	304	112	59	-29	79	340	292	197	156
	159	125	234	234	60	0	58	113	304	304	133	80	-43	79	340	297	204	163
	160	125	167	167	44	0	31	113	266	266	126	79	-51	79	298	268	180	145
жовте	209	125	100	100	23	0	41	113	190	190	88	55	-52	79	213	208	128	102
	250	94	67	67	14	0	126	84	0	0	0	0	7	59	0	0	0	0
-----																		
	250	3341	554			126	3800	1067			7	4254	1956					
	2689	3294				0	2424	3800	431	1702	4089	1445						
осушення																		
435					435					435								
траве	511	125	67	67	18	0	485	113	76	76	13	0	439	79	85	85	10	0
	547	156	100	80	-13	0	532	141	114	114	20	0	426	99	128	128	15	0
	580	156	100	100	23	0	578	141	114	114	20	0	413	99	128	128	15	0
черве	576	156	134	107	-23	0	568	141	152	152	1	0	362	99	170	170	20	0
	580	188	167	167	17	0	580	169	190	190	33	0	294	119	213	213	26	0
	568	188	200	200	1	0	561	169	228	228	40	0	188	119	255	255	31	0
липен	556	219	234	234	3	0	570	197	228	228	40	0	103	139	255	255	31	0
	544	250	267	267	5	0	575	225	266	266	46	0	0	158	298	297	36	0
	511	188	301	301	79	0	493	169	304	304	53	0	-12	119	340	172	42	0
серпе	477	188	301	301	79	0	380	169	342	342	59	0	-28	119	383	183	48	0
	412	156	301	301	79	0	207	141	380	380	66	0	-50	99	425	177	56	0
	292	125	334	334	88	0	38	113	342	342	59	0	-68	79	383	149	52	0
верес	220	125	267	267	71	0	-8	113	304	212	54	0	-82	79	340	140	47	0
	173	125	234	234	62	0	-20	113	304	179	55	0	-96	79	340	141	48	0
	175	125	167	167	44	0	-27	113	266	169	49	0	-106	79	298	132	43	0
жовте	227	125	100	100	26	0	-30	113	190	150	35	0	-111	79	213	114	31	0
	272	94	67	67	18	0	55	84	0	0	0	0	-51	59	0	0	0	0
-----																		
	272	3341	577			55	3800	643			-51	4254	551					
	2689	3294				0	2424	3446	0	1702	2739	0						



зрошення на фоні осушення																		
435						435						435						
траве	511	125	67	67	18	0	485	113	76	76	13	0	439	79	85	85	10	0
	547	156	100	80	-13	0	532	141	114	114	20	0	426	99	128	128	15	0
	580	156	100	100	23	0	578	141	114	114	20	0	413	99	128	128	15	0
черве	576	156	134	107	-23	0	568	141	152	152	1	0	362	99	170	170	20	0
	580	188	167	167	17	0	580	169	190	190	33	0	294	119	213	213	26	0
	568	188	200	200	1	0	561	169	228	228	40	0	488	119	255	255	31	300
липен	556	219	234	234	3	0	570	197	228	228	40	0	403	139	255	255	31	0
	544	250	267	267	5	0	575	225	266	266	46	0	299	158	298	298	36	0
	511	188	301	301	79	0	493	169	304	304	53	0	419	119	340	340	41	300
серпе	477	188	301	301	79	0	380	169	342	342	59	0	501	119	383	383	46	300
	412	156	301	301	79	0	507	141	380	380	66	300	525	99	425	425	51	300
	292	125	334	334	88	0	338	113	342	342	59	0	568	79	383	383	46	300
верес	520	125	267	267	71	300	499	113	304	304	53	300	348	79	340	340	41	0
	473	125	234	234	62	0	361	113	304	304	53	0	428	79	340	340	41	300
	475	125	167	167	44	0	554	113	266	266	46	300	545	79	298	298	36	300
жовте	527	125	100	100	26	0	510	113	190	190	33	0	437	79	213	213	26	0
	572	94	67	67	18	0	580	84	0	0	15	0	497	59	0	0	0	0
-----																		
	572	3341		577		580	3800		650		497	4254		512				
	2689	3294			300	2424	3800		900		1702	4254			2100			

## Результати розрахунку № 2

РЕЗУЛЬТАТИ		РОЗРАХУНКУ			
культура	спосіб рег-я	приведен. витрати, грн/га	чистий прибуток грн/га	вар-т по min ВП	комб. вар-т
Багатор.трави (сіно)	пп.шлюз.	320.8	246.2		
	зр.дощ.	511.8	205.2		
	п/г звл.	411.1	230.9		
	осушення	286.0	251.0	*	*
Ярові зернові	дощ.+ос	475.6	211.4		
	пп.шлюз.	563.2	29.6		
	зр.дощ.	752.5	-9.7		
	п/г звл.	652.5	15.3		
Картопля	осушення	526.5	36.3	*	*
	дощ.+ос	716.4	-3.6		
	пп.шлюз.	2122.7	148.3		
	зр.дощ.	2290.9	130.1		
Кукурудза на силос	п/г звл.	2188.4	157.6		
	осушення	2111.4	129.6	*	*
	дощ.+ос	2252.0	139.0		
	пп.шлюз.	473.0	95.5		
Буряк кормовий	зр.дощ.	661.4	57.1		
	п/г звл.	563.7	79.8		
	осушення	437.5	101.0	*	*
	дощ.+ос	625.6	62.9		
	пп.шлюз.	996.1	473.9		
	зр.дощ.	1163.5	456.5		
	п/г звл.	1064.9	480.1		
	осушення	981.2	458.8	*	*
	дощ.+ос	1125.3	464.7		

варіант	приведені витрати, грн/га	чистий прибуток, грн/га
пп.шлюз.	672.0	149.4
зр.дощ.	857.6	113.8
п/г звл.	757.8	138.6
осушення	640.4	150.9
дощ.+ос	821.1	120.3
мінімум ВП	640.4	150.9
комбінован.	640.4	150.9
оптимум	640.4	150.9

Навчальне видання

*Рокочинський Анатолій Миколайович  
Турченко Василь Олександрович  
Волк Павло Павлович  
Коптюк Роман Миколайович  
Величко Світлана Віталіївна  
Приходько Наталія Володимирівна  
Фроленкова Надія Анатоліївна  
Волк Любов Романівна*

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНКІВ  
ВОДОГОСПОДАРСЬКО-МЕЛІОРАТИВНИХ ОБ'ЄКТІВ**

*Навчальний посібник*

*Технічний редактор*

*Г. Ф. Сімчук*